

---

# 7. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2005 1.–3. März 2005 in Braunschweig

7<sup>th</sup> Conference

## Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming 2005

March 1<sup>st</sup>–3<sup>rd</sup>, 2005 in Braunschweig, Germany

### Veranstalter / Presented by



Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) Düsseldorf  
Max-Eyth-Society of Agricultural Engineering of the VDI (VDI-MEG)  
Düsseldorf



Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)  
Darmstadt

Association for Technology and Constructions in Agriculture e. V. (KTBL)  
Darmstadt



Europäische Gesellschaft landwirtschaftlicher Ingenieure (EurAgEng)  
Silsoe, GB

European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng) Silsoe, GB

### Ausrichter / Local Arrangements



Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt  
für Landwirtschaft (FAL)

Institute for Production Engineering and Building Research,  
Federal Agricultural Research Centre (FAL)

---

## **Programmausschuss**

### ***Scientific Committee***

Prof. Dr. F.-J. Bockisch, FAL Braunschweig [Vorsitz]  
Prof. Dr. Ir. H. Van den Weghe, Universität Göttingen [Stellvertretender Vorsitzender]  
Prof. Dr. R. Brunsch, ATB Potsdam-Bornim  
Prof. Dr. W. Büscher, Universität Bonn  
Prof. Dr. T. Jungbluth, Universität Hohenheim (KTBL-Präsident)  
Prof. Dr. O. Kaufmann, Humboldt-Universität Berlin  
Prof. Dr. W. Meier, FAT Tänikon/CH  
Prof. Dr. Ir. J.H.M. Metz, Universität Wageningen/NL  
Prof. Dr.-Ing. A. Munack, FAL Braunschweig (CIGR-Präsident)  
Dr. J.-P. Ratschow, VDI-MEG, Münster  
Prof. Dr. H. Seufert, Universität Gießen  
Dr. G. Wendl, LfL Freising-Weihenstephan  
Dipl.-Kaufm. M. Westerkamp, HOWEMA Visbek

Die Veröffentlichung enthält die Beiträge der Tagung. Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

This publication contains the proceedings of the conference. The Authors are accountable for the contents of their proceedings.

## **Sponsoren**

### ***Sponsors***

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), 53107 Bonn  
Cover-All Deutschland GmbH, Im Hook 10, 48607 Ochtrup

## **Zusammenstellung**

### ***Composition of Proceedings***

Dr. Christel Hoch  
Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, FAL Braunschweig

© 2005

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)  
Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt  
Telefon: (06151) 7001-0, Fax: (06151) 7001-123  
E-Mail: ktbl@ktbl.de Homepage: <http://www.ktbl.de>

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Druck:

Druckerei Lokay, Reinheim

Vertrieb und Auslieferung:

KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup  
Printed in Germany

ISBN 3-7843-2185-2

## Vorwort

Die 7. Internationale Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“ (BTU-Tagung) findet am 2. und 3. März erstmalig auf dem Gelände der FAL in Braunschweig statt. Im Rahmen der Exkursion am 1. März nachmittags bietet sich die Gelegenheit eine der modernsten Versuchstationen und flächenmäßig größten Forschungseinrichtungen des Bundes im Agrarbereich zu besichtigen.

Die Chronik dieser Tagungsreihe zeigt, dass die BTU-Tagung mittlerweile fest etabliert ist. Erstmals im März 1993 an der Universität in Gießen vom Institut für Landtechnik initiiert und ausgerichtet, ist sie nun als 3-zügige Tagung international anerkannt. Die Veröffentlichung der Tagungsbeiträge sichert die Verbreitung der aktuellen Forschungsergebnisse. Erstmals sind in dieser Ausgabe Vortrags- und Posterbeiträge mit je sechs Seiten gleichwertig vertreten.

Die bisherigen Veranstaltungsorte Gießen, Potsdam, Kiel, Freising, Hohenheim, Vechta und nun im Jahr 2005 Braunschweig sind zwar auf agrarwissenschaftliche Forschungsstandorte Deutschlands konzentriert – dennoch ist diese Tagung nicht nur für die bau- und verfahrenstechnische Forschung, sondern auch für die agrarwirtschaftliche Entwicklung im gesamten Bundesgebiet wegweisend: Ablesbar an der zunehmenden Zahl der Beiträge, steigt das Interesse an dieser Tagung in der Wirtschaft und im Ausland zusehends.

Die zahlreichen Themen der Tagung bieten die Grundlage, um Forschung und Entwicklung in der Bau- und Verfahrenstechnik der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung auf hohem wissenschaftlichem Niveau komplex zu diskutieren. Dies wiederum ist Basis für die Planung der weiteren essentiellen Forschungsarbeiten, der praktischen Entwicklungen und der industriellen Umsetzung.

Die Schwerpunkte der diesjährigen Tagung werden erstmals durch eine eigene Sektion zum Thema Pferdehaltung ergänzt. Darin spiegelt sich die aktuelle Entwicklung in Deutschland wider und trägt somit dem Aspekt der inzwischen engen Bindung von Freizeitaktivitäten der Bevölkerung im ländlichem Raum und neuen Betriebszweigen in der Landwirtschaft Rechnung.

Hervorzuheben ist, dass die Tagung erstmals in einer Forschungseinrichtung im Geschäftsbereich des BMVEL zu Gast ist. Die Veranstaltung wird vom BMVEL inhaltlich unterstützt und durch den Plenarvortrag von Ministerialdirigent Professor Schlagheck gewürdigt.

Wir sind stolz darauf, dass diese Tagung vom Institut für Betriebstechnik und Bauforschung ausgerichtet wird und im FORUM der FAL stattfinden kann.

## Preface

From March 2<sup>nd</sup> to 3<sup>rd</sup>, 2005, the 7<sup>th</sup> International Conference on “Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming” (BTU-Conference) for the first time takes place on the area of the FAL in Braunschweig. In the frame of the excursion on the afternoon March 1<sup>st</sup> there is the opportunity to visit one of the most modern experimental stations at one of the largest research establishments of the Federal Government in the agricultural sector.

The chronicle of this line of conferences shows the BTU-conference meanwhile to be placed firmly. Initially started in March 1993 at the University of Gießen by the Institute of Agricultural Engineering, it is now internationally acknowledged as a three-tracked conference. The publication of the conference papers ensures the spreading of the up-to-date results of research. The current edition for the first time comprises oral and posters presentations equivalent, with 6 pages each.

Although the former venues of the conference Gießen, Potsdam, Kiel, Freising, Hohenheim, Vechta, and now in 2005 Braunschweig concentrate on the agricultural research centres in Germany; however this conference is not only seminal for building and engineering research but also a signpost for the agricultural development in the whole Federal Republic: Indicated by the increasing number of contributions this conference is of growing interest to economy and foreign countries.

The numerous topics of the conference provide the basis for discussion on research and development in construction and engineering in livestock farming on a high scientific level. This in turn will become the basis of further essential research, practical developments and industrial use.

The emphases of this years conference for the first time will be supplemented by an own section dealing with horse keeping. This reflects present progress in Germany, contributing to the aspect of close relation between recreational activities of citizens in the countryside and new branches of business in agriculture.

It must be pointed out that this conference for the first time, too is hosted by a research establishment of the Federal Ministry of Consumer Protection, Food and Agriculture (BMV-EL). This congress is supported by the BMVEL and honored by a plenary talk, held by department head, Ministerialdirigent Professor Schlagheck.

We are proud that this conference is organised by the Institute of Production Engineering and Building Research and may take place in the FORUM of the FAL.

FRANZ-JOSEF BOCKISCH  
Institute for Production Engineering and Building Research, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Braunschweig

# Inhaltsverzeichnis

## Vorträge

### Plenarvorträge

Entwicklungstendenzen in der Bau- und Verfahrenstechnik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung <i>Development trends in the field of farm buildings and techniques in connection with livestock farming</i> BOCKISCH, FRANZ-JOSEF .....	1
Anforderungen an die Bau- und Verfahrenstechnik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung aus der Sicht des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) <i>Requirements of structural and process engineering in livestock farming – point of view of the Federal Ministry of Consumer Protection, Food and Agriculture (BMVEL)</i> SCHLAGHECK, HERMANN .....	7

### Gebäudeplanung und Standort

Neubau von Geflügelställen – Bauplanungen, Baukonstruktionen, Baukosten <i>Newly constructed poultry stables – planning, structural design, construction costs</i> GARTUNG, JÜRGEN; UMINSKI, KERSTIN; HARTWIG, MELANIE; HOCH, CHRISTEL .....	13
Wirtschaftliche Baulösungen durch Variantenvergleiche: Der FAT-Preisbaukasten als Hilfsmittel für kostengünstige Betriebsgebäude <i>Comparing alternatives for cost-effective building solutions: FAT Modular Construction Standards for Farm Building Costs as an aid to low-cost farm buildings</i> HILTY, RICHARD; VAN CAENEGEM, LUDO .....	19
Standort- und Genehmigungsmanagement bei der Errichtung von Tierproduktionsanlagen – Erfahrungen aus der Praxis <i>Location management and authorization management in the process of building animal production facilities</i> PITSCHMANN, THOMAS.....	25

### Bewertung Haltungssysteme

Nationaler Bewertungsrahmen zur Beschreibung des Standes der Technik bei Tierhaltungsverfahren – Aspekt Umweltwirkungen <i>National Assessment for Animal Husbandry – Part environmental protection</i> ACHILLES, WERNER; EURICH-MENDEN, BRIGITTE; HARTMANN, WILFRIED.....	31
Ethologische und ökonomische Beurteilung von Schweinemastverfahren <i>Ethological and economical evaluation of pig fattening systems</i> PFLANZ, WILHELM; BECK, JÜRGEN; JUNGBLUTH, THOMAS; TROXLER, JOSEF; SCHRADER, HANSJÖRG....	37

Nationaler Bewertungsrahmen für Tierhaltungsverfahren – Teil Tiergerechtheit <i>National Assessment for Animal Husbandry – Part Animal Welfare</i> SCHÄFFER, DIRK; BÜNGER, BEATE; MARAHRENS, MICHAEL; OTTO, CHRISTOPHER; SCHRADER, LARS; ZERBE, FRANK .....	43
--	----

## **Pferdehaltung**

Einflussfaktoren auf Gas- und Schwebstaubkonzentrationen in Pferdeställen mit Einzelhaltung in Boxen <i>Influences on gas and airborne dust concentrations in stalls for single housed horses</i> HESSEL, ENGEL F.; FLEMING, KATHRIN; VAN DEN WEGHE, HERMANN .....	49
Auswirkungen unterschiedlicher Kraftfuttermitteltechnologien und -frequenzen auf die Herzfrequenzvariabilität und das Verhalten von Warmblutpferden <i>Effects of different concentrate feeding techniques on heart rate variability and behaviour of warmblood horses</i> HOHMANN, TORSTEN; KREIMEIER, PETER; BOCKISCH, FRANZ-JOSEF; BOHNET, WILLA .....	55
Vergleich von Pferdehaltungssystemen in Bezug auf die Nutzung der Funktionsbereiche <i>Comparison of horse husbandry systems with regard to use of functional areas</i> KREIMEIER, PETER; KIPP, DANIELA; BOCKISCH, FRANZ-JOSEF; GERKEN, MARTINA.....	61

## **Bau- und Haltungstechnik Schweine**

Luftkühlung in der Schweinemast mit Hilfe der Absorptionskältetechnik <i>Air cooling in the pig fattening with the help of absorption cold technology</i> BEYERSDORFER, GÜNTER; MUSSLICK, MICHAEL; REINHOLD, GERD; WANKA, UTE; FROSCH, WERNER; PILZ, MANFRED .....	67
Sensorgestützte Analyse des Präferenzverhaltens von Schweinen – Aufbau und Struktur der Versuchsanlage und erste Ergebnisse <i>Sensor based analysis of the preference behaviour of pigs – configuration and equipment of investigation and first results</i> BÖRGERMANN, BJÖRN; KAUFMANN, OTTO; FRIEDRICH, BOZENA .....	73
Präferenzversuche mit Mastschweinen im Liegebereich bezüglich Bodenstruktur und Lufttemperatur <i>Preference studies on fattening pigs in lying areas with regard to floor structure and air temperature</i> FESKE, INGE; HESSE, ANDREA; HESSE, DIRK .....	79
Beurteilung der Tiergerechtheit zweier Mastschweinehaltungssysteme <i>Animal welfare assessment of two housing systems for fattening pigs</i> HARTUNG, EBERHARD; BEA, WOLFGANG; JUNGBLUTH, THOMAS; TROXLER, JOSEF .....	85
Verbesserung der Bodenqualität im Liegebereich bei Mastschweinen <i>Improving the quality of the lying area in housing systems for fattening pigs</i> SAVARY, PASCAL; HAUSER, RUDOLF; WECHSLER, BEAT; JUNGBLUTH, THOMAS .....	91

Verhalten und Leistung von Mastschweinen bei der sensorgesteuerten Flüssigfütterung in Abhängigkeit vom Tier-Fressplatzverhältnis <i>Influence of the animal-feeding place ratio on the behaviour and performance of fattening pigs fed by means of sensor controlled liquid feeding</i> WECHSLER, BEAT; RASMUSSEN, DORTHE K.; WEBER, ROLAND .....	97
--	----

**Bau- und Haltungstechnik Rinder**

Advantages and disadvantages of indoor and outdoor housing of calves with respect to growth, health and working condition <i>Vor- und Nachteile von Aufstallung und Hüttenhaltung von Kälbern in Bezug auf Wachstum, Gesundheit und Arbeitsbedingungen</i> DALGAARD, INGER .....	103
--	-----

Gummimodifizierte Betonspaltenböden für Mastbullen: Auswirkungen auf das Liegeverhalten, auf die Veränderungen der Haut im Bereich der Gelenke und auf die Klauengesundheit <i>Rubber-topped concrete slatted floors for fattening bulls: Influence on lying behaviour, on skin lesions at the leg joints and on claw health</i> FRIEDLI, KATHARINA; GYGAX, LORENZ; WECHSLER, BEAT; SCHULZE WESTERATH, HEIKE; MAYER, CLAU; THIO, TANJA; OSSENT, PETE .....	109
--	-----

Stallklimadaten und Liegeverhalten von Milchkühen als Bestimmungsgrößen für die Steuerung von Curtains im Liegeboxenlaufstall <i>Indoor Climate Data and Lying Behaviour of Dairy Cows – Determinants for Control of Curtains in Cubicle Housing Systems</i> GUTERMANN, SILVIA; FREIBERGER, MARTIN; LECKER, JOHANN; BÖCK, STEPHAN; PEIS, RUDOLF; ENDERS, STEFAN; HAIDN, BERNHARD .....	115
--	-----

Ammoniakmessungen in einer Auslaufhaltung für Kälber <i>Ammonia measurements in a free range calf housing system</i> HINZ, TORSTEN; EISENSCHMIDT, RICHARD; LINKE, STEFAN; GEORG, HEIKO; UDE, GRACIA .....	121
---	-----

Schäden am Integument von Milchkühen – Einfluss von Einstreu auf die Gelenkgesundheit bei Milchkühen <i>Joint lesions by dairy cows – influence of bedding material</i> KÖGLER, HARALD; HERRMANN, HANS-JOACHIM; REUBOLD, HARALD; HAIDN, BERNHARD .....	127
--	-----

Einfluss von Tränkestandgestaltung und angereicherter Haltungsumgebung auf das gegenseitige Besaugen von Kälbern in Gruppenhaltung <i>Effect of a modified feeding station and environmental enrichment on cross-sucking behaviour of group-housed dairy calves</i> UDE, GRACIA; GEORG, HEIKO .....	133
---	-----

The Use of Vision Techniques in the Development of a New Housing System for Dairy Cows <i>Der Gebrauch von Videotechnik bei der Entwicklung eines neuen Haltungsystems für Milchvieh</i> VAN DOOREN, HENDRIK; DIJK, GERRIT; KOOPMAN, WICHERT; VERDOES, NICO .....	139
---	-----

## **Melkverfahren und Management Milchkühe**

Ergebnisse aus langjährigem Praxiseinsatz von Melkrobotern

*Results from many years of using milking robots*

ARTMANN, RUDOLF ..... 145

Entwicklung eines online-Sensorsystems für automatische Melkverfahren zur Früherkennung von Eutererkrankungen

*Design of an online sensor array for an early detection of udder affections in automatic milking systems*

CULINA, MARIJAN; HAHNE, JOCHEN; VORLOP, KLAUS-DIETER; ORDOLFF, DIETER ..... 151

CIP-Cleaning Systems Versus Conventional Cleaning Systems for Milking Parlour and Milk Storage

*CIP-Reinigungssysteme im Vergleich mit konventionellen Reinigungssystemen für Melkstand-Anlagen und Milch-Lagerung*

GJØDESEN, MADS URUP ..... 157

Nutzung aktiver und passiver Selektionstore beim automatischen Melken mit selektiv gelenktem Umtrieb

*Usage of active and passive selection gates on automatic milking with a selectively guided cow traffic*

HARMS, JAN; WENDL, GEORG ..... 163

Opportunities for Continuous Monitoring of Milking Installations

*Möglichkeiten der kontinuierlichen Überwachung von Melkanlagen*

HOSTENS, VEERLE; SONCK, BART ..... 169

Konzentration der Ionen Natrium und Kalium in Rohmilch als Kennzeichen der Eutergesundheit

*Concentration of sodium and potassium in raw milk as indicator for udder health*

KREHL, INES; BRUNSCH, REINER ..... 175

Entstehung von Kräften am Euter durch unterschiedliche Schlauchführungssysteme bei Automatischen Melksystemen

*Forces on teats at different design of tube systems in Automatic Milking Systems*

ROSE, SANDRA; KLIMETSCHKE, HANS-JÖRG; HUSCHKE, WOLFRAM; BRUNSCH, REINER ..... 181

## **Fütterungstechnik**

Optimieren des Fließprofils in Kraftfuttersilos zum Vermeiden von Pilzen und Toxinen

*Optimisation the flowing profile in silos for concentrated feed-stuff for avoiding fungi and toxins*

FÜRL, CHRISTIAN; SCHURICHT, THOMAS ..... 187

Ein neues Fütterungsverfahren für Absetzferkel - der Ferkelfeeder

*A new feeding system for weaner pigs – the Ferkelfeeder*

KNOOP, STEPHANIE; HOY, STEFFEN ..... 193

Eine neue Technik für aktiven Futtererwerb bei der Intensivhaltung von Schweinen <i>A new technique for active feed acquisition of intensively housed pigs</i>	
MANTEUFFEL, GERHARD; ERNST, KATRIN; PUPPE, BIRGER; SCHÖN, PETER C. ....	199
Eiweißreduzierte sensorgesteuerte Mastschweinefütterung <i>Protein reduced sensor controlled feeding of fattening pigs</i>	
SUHR, CORNELIA; NAATJES, MAIKE; DOLUD, MICHAEL; ANDREE, HELGA; HÜGLE, THOMAS.....	205

## **Management und Arbeitswirtschaft**

Untersuchungen über die Eignung des Videobildsystems optiSORT (Firma Hölscher + Leuschner) zur Bestimmung des Gewichts und der Beurteilung der AutoFOM-Schlachtkörperqualität von Schweinen in der Endmast <i>Test of applicability of the videosystem optiSORT (developed by Hölscher + Leuschner) to determine the weight and the carcass quality (in terms of AutoFOM) of fattened pigs</i>	
CIELEJEWSKI, HORST; THOLEN, ERNST; GEERDES, KLAUS; LEUSCHNER, PETER.....	211
Auswirkung einer Hochdruckbefuchtung kombiniert mit Tieraktivitäts- und CO <sub>2</sub> -Regelungen auf Stallklima und Arbeitsplatzbelastung <i>Impact of high pressure water fogging combined with animal activity and CO<sub>2</sub> control on indoor air climate and working environment</i>	
HÄUSSERMANN, ANGELIKA; FISCHER, DANIEL; BAUR, JOHANNES; HARTUNG, EBERHARD; JUNGBLUTH, THOMAS .....	217
Betriebsmanagement in der Landwirtschaft - Systematisierung und Ansatz für die Arbeitszeitermittlung <i>Farm management – systematization and approach for working time recording</i>	
MORIZ, CHRISTOPH .....	223
Arbeitswissenschaftliche Betrachtung zur Milchviehhaltung unter Berücksichtigung von Zeitbedarf, Arbeitsproduktivität und -belastung <i>Work-economics aspects of dairy farming taking into account working-time requirements, work productivity and work load</i>	
SCHICK, MATTHIAS .....	229

## **Qualitätssicherung**

Moderne Managementstrategien zur Qualitätssicherung und deren Anwendung auf die Milcherzeugung wachsender Betriebe <i>Modern Managementstrategies for quality assurance and their application on growing dairies</i>	
HERD, DANIEL; SEUFERT, HERMANN.....	235
Modell eines integrierten Audit- & Dokumentenmanagement-Systems im Rahmen der Qualitätssicherung in QS-Bündlerorganisationen <i>Model of an integrated audit- and document management-system in the context of quality assurance in QS coordination-organisations</i>	
MACK, ADRIANE; GYMNICH, STEFAN; SCHMITZ, THOMAS; PETERSEN, BRIGITTE .....	241

Informationsmanagement für die Qualitätssicherung in der Futterernte und -konservierung <i>Information management system for quality assurance for wilting silage</i> WAGNER, ANDREA; BÜSCHER, WOLFGANG .....	247
<b>Umweltbelastung, Emissionen und Aufbereitung von Reststoffen</b>	
Freiland-Legehennenhaltung in großen Herden: Interaktion zwischen Auslaufnutzung und Exkrementmenge und -verteilung im Auslauf <i>Free-range layers in large flocks: Interaction of use of the outdoor run and excrement load and –spatial distribution</i> ELBE, ULRIKE; ROSS, ANTIJE; STEFFENS, GÜNTER; VAN DEN WEGHE, HERMANN; WINCKLER, CHRISTOPH.....	253
Ermittlung der Geruchsbelastung und -belästigung im Umfeld von Schweineeställen <i>Investigations into the odour impact and nuisance in the vicinity of pig farms</i> GALLMANN, EVA; HARTUNG, EBERHARD; JUNGBLUTH, THOMAS.....	259
Stand der Verfahrenstechnik und Kosten der Abluftreinigung in der Nutztierhaltung <i>State-of-the-art of waste air purification systems for application in animal husbandry</i> GRIMM, EWALD; SCHIER, FELIX; BÜSCHER, WOLFGANG; HARTUNG, EBERHARD .....	265
Ammoniakabscheidung bei Abluftwäschern <i>Ammonia separation at waste gas scrubbers</i> HAHNE, JOCHEN; ASENDORF, WILFRIED; VORLOP, KLAUS-DIETER .....	271
Ammonia Emissions in Organic Pig Production <i>Die Ammoniakemissionen in der ökologischen Schweinehaltung</i> IVANOVA-PENEVA, SONIA G.; AARNINK, ANDRÉ J. A. ....	277
Plasmaphysikalisches Verfahren zur Emissionsminderung in der Nutztierhaltung <i>Non-Thermal-Plasma technique for mitigating emissions in animal husbandry</i> KOSCH, RALF; DECKER, AXEL; VAN DEN WEGHE, HERMANN .....	283
Computergestützte Simulation einer raumlufttechnischen Anlage für einen Schweinemaststall mit 2.000 Tierplätzen zwecks Optimierung wichtiger Stallklimafaktoren und Minimierung von Ammoniakfreisetzungen <i>Computer aided simulation of an air ventilation system of swine fattening barn with 2,000 animal places with regard to the optimization of important factors of stable climate and minimization of ammonia emission</i> KRAUSE, KARL-HEINZ; LINKE, STEFAN; MUSSLICK, MICHAEL .....	289
Theoretical evaluation of ammonia scrubbers for governmental approval <i>Theoretische Evaluation von Ammoniak-Wäschern für die staatliche Genehmigung</i> MELSE, ROLAND; WILLERS, HANS C.....	295

Wirksamkeit von Ureaseinhibitoren in der Milchviehhaltung <i>Effectiveness of urease inhibitors in dairy barns</i> REINHARDT-HANISCH, ANNETT; LEINKER, MARTIN; HARTUNG, EBERHARD; VON BORELL, EBERHARD .....	301
Partikelemissionen aus Tierställen – Zusammensetzung, physikalische Stoffeigenschaften und Quellbeschreibungen <i>Particle Emissions from Livestock Houses – Composition, Physical Characteristics and Description of its Source</i> SCHMITT-PAUKSZTAT, GREGOR; SCHNEIDER, TILL; WALLENFANG, OLIVER; BÜSCHER, WOLFGANG; DIEKMANN, BERND.....	307
Untersuchung und Bewertung von Staub, Endotoxin, Ammoniak und Keimen in ausgewählten Stallsystemen mit überwiegend freier Lüftung <i>Examination and validation of dust, endotoxine, ammonia and germs in selected stables with predominant naturally ventilation</i> SCHNEIDER, FRIEDHELM; NESER, STEFAN; HAIDN, BERNHARD; GRONAUER, ANDREAS; SCHIERL, RUDOLF; EGGER, ULRICH.....	313
<b>Rechnergestützte Systeme zur Tiererkennung, Herkunftskennung</b>	
Rechnergestützte Tierüberwachung in der Mutterkuhhaltung <i>Computer based animal monitoring in suckler cow husbandry</i> BAHR, CLAUDIA; KAUFMANN, OTTO; SCHEIBE, KLAUS .....	319
Einsatz der elektronischen Kennzeichnung (RFID-Technologie) für die Verbesserung der Rückverfolgbarkeit von Schweinen <i>Electronic identification (RFID Technology) for improvement of traceability of pigs</i> SPIESSL-MAYR, EVA; WENDL, GEORG; ZÄHNER, MICHAEL.....	325
Elektronische Registrierungssysteme zur Erfassung der Legeleistung und von Verhaltensmustern bei Legehennen in artgerechter Gruppenhaltung <i>Electronic systems to record behaviour patterns and laying performance of individual laying hens in alternative group housing systems</i> THURNER, STEFAN; WENDL, GEORG; BÖCK, STEPHAN .....	331
Smart Livestock Farming with Individual Digital Assistants <i>Smart Livestock Farming mit Individual Digital Assistants</i> UMSTÄTTER, CHRISTINA .....	337
<b>Biogas</b>	
Methane production from cereals, grass and sunflowers: Effect of harvesting time and pre-treatment on the methane yield <i>Methanerzeugung aus Getreide, Wiesengras und Sonnenblumen: Einfluss des Erntezeitpunktes und der Vorbehandlung</i> AMON, THOMAS; KRYVORUCHKO, VITALI; BODIROZA, VITOMIR; AMON, BARBARA .....	343
Ermittlung der Gaserträge unterschiedlicher Cofermente in landwirtschaftlichen Biogasanlagen <i>Monitoring biogas yields for different input materials on farm biogas plants</i> GRUBER, WALDEMAR .....	349

Methanertragspotenzial verschiedener nachwachsender Rohstoffe in Laborfermentern und deren Übertragbarkeit auf die Praxis <i>Methane yield of various energy crops – tests at laboratory scale and transferability to full-scale application</i>	
KAISER, FELIPE; SCHLATTMANN, MARKUS; GRONAUER, ANDREAS .....	355
Feststofffermentation landwirtschaftlicher Substrate im Batch-Betrieb <i>Solid-phase digestion of agricultural substrates in batch processes</i>	
KUSCH, SIGRID; OECHSNER, HANS.....	361

### **Industrielle Entwicklungen**

Der Vario-Line Modulstall – ein leistungsfähiges Komplettstallsystem für die Schweinemast und Schweinezucht <i>The Vario-Line modular stable – an effective turnkey-system for fattening and breeding pigs</i>	
JESS, HANS-JÜRGEN .....	367
Intensivtierhaltung und Umweltschutz: Ein kombiniertes Verfahren zur Flüssigmist- und Abluftbehandlung <i>Intensive animal husbandry and environmental protection: A combination of liquid manure processing and exhaust air cleaning</i>	
KIUNTKE, MARCUS; FAHLBUSCH, KLAUS; VAN DEN WEGHE, HERMANN.....	373
Production of meat and vegetables in a stable-greenhouse symbioses system: The beginning of a green revolution? <i>Produktion von Fleisch und Gemüse in Symbiose: Der Beginn einer grünen Revolution?</i>	
VAN DER WIJNGAART, AAD .....	379

### **Poster**

#### **Gebäudeplanung und Standort**

Buildings for sheep farming: Towards a sustainable typological system for Sardinia, Italy <i>Bauten für die Schafhaltung: Hin zu einem typologischen System tragbar für Sardinien</i>	
DE MONTIS, STEFANO; DE MONTIS, ANDREA; BARRA, MARIO.....	385
Folienhallen als landwirtschaftliche Betriebsgebäude <i>Plastic lined halls for farm buildings</i>	
GARTUNG, JÜRGEN .....	391
Interreg-III A-Projekt Landwirtschaftliches Bauen und Landschaft <i>Interreg III A project on agricultural building and landscape</i>	
HEINRICH, ANTJE .....	397

## **Bewertung Haltungssysteme**

- Bayerisches Verbundprojekt für artgerechte, umweltverträgliche und wettbewerbsfähige Tierhaltungsverfahren  
*Bavarian cooperative project for adequate, environmentally compatible and competitive animal husbandry*  
HAIDN, BERNHARD; SIMON, JOCHEN; NESER, STEFAN ..... 403
- Großgruppenhaltung in der Schweinemast – Untersuchungen zur Tiergerechtheit und zum Umweltschutz  
*Keeping of fattening pigs in large groups – investigation regarding animal welfare and environmental protection*  
MÜLLER, HANS-JOACHIM; VENZLAFF, FRITZ-WILHELM ..... 409

## **Pferdehaltung**

- Einfluss der Änderung des Tier-Fressplatzverhältnisses bei Gruppenhaltung von Hannoveranerstuten auf die Nutzung der Funktionsbereiche und einige Verhaltensparameter  
*Influence of a changed animal to feeding-place ratio in group penning of Hanoverian mares on the use of functional areas and some behaviour parameter*  
KREIMEIER, PETER; WRISKE, SONJA; BOCKISCH, FRANZ-JOSEF; BOHNET, WILLA ..... 415
- Staubbelastungen in Pferdeställen – Entstehung, Wirkung und Ursachen  
*Airborne dust in horse barns – origin, effect, and cause*  
SZABO, EDITH; SCHÄFER, INES; BÜSCHER, WOLFGANG ..... 421

## **Bau- und Haltungstechnik Geflügel**

- Improvement of Indoor Conditions in Poultry Houses  
*Verbesserung der Klimagegestaltung in Geflügelställen*  
KIC, PAVEL ..... 427

## **Bau- und Haltungstechnik Schweine**

- Die Stimubucht – ein neues Verfahren zur Gruppenbildung von Sauen  
*The stimu-pen – a new tool in mixing groups of sows*  
BAUER, JÖRG; HOY, STEFFEN ..... 433
- Möglichkeiten zur technischen und tierbezogenen Beurteilung der Trittsicherheit von Stallfußböden beim Schwein  
*Assessment of pig flooring for sufficient footing by means of technical and biological indicators*  
HÄUSER, SVEN; HERRMANN, HANS-JOACHIM; MICHAEL, CLAUDIA; VON BORELL, EBERHARD ..... 439
- Geräuschpegelmessungen bei unterschiedlichen Stallfußböden in der Ferkelaufzucht  
*Measurement of sound level on different floors in piglet housing*  
LEHMANN, BERND; ROSE, MATTHIAS; BAUMEISTER, JOCHEN; KLINDTWORTH, MICHAEL;  
HERRMANN, HANS-JOACHIM ..... 445

Stallklimascreening, ein wirksames Element zur Reduzierung prädisponierender Faktoren im Gesundheitsmanagement beim Schwein <i>Controlled Environment in Pig Housing – A Tool for Health Management</i> WEBER, MANFRED; KRUG, EIKE .....	451
--	-----

**Bau- und Haltungstechnik Rinder**

Effects of rearing until weaning and sire on growth and milk production in dairy cows <i>Einfluss der Aufzucht bis zum Absetzen und des Zuchtbullen auf Wachstum und Milchleistung bei Milchkühen</i> BROUČEK, JAN; MIHINA, STEFAN; KISAC, PETER; UHRINCAT, MICHAEL; HANUS, ANTON; BENC, FRANTISEK; FOLTYS, VLADIMIR.....	457
---	-----

Liegeboxenabmessungen für Mastbullen unterschiedlicher Gewichtsklassen <i>Dimensions of cubicles for fattening bulls of different weight classe</i> SCHULZE WESTERATH, HEIKE; KUHLICKE, JOHANNES; GYGAX, LORENZ; MAYER, CLAUS.....	463
--	-----

**Melkverfahren und Management Milchkühe**

Erkennung von technischen Fehlern im Melkstand – Eignung von Milchabgabemerkmale von Kühen <i>Detection of technical defects in milking parlours – using milking traits of cows</i> GRIMM, HARTMUT; APPEL, CHRISTOPH.....	469
---	-----

Auswirkungen des automatischen Melkens auf Milchqualität & Hygiene – Ergebnisse des BMVEL-Modellvorhaben 2001/03 II <i>Effects of Automatic Milking on Milk Quality &amp; Hygiene – Results of the BMVEL-Pilot-Project 2001/03 II</i> HARMS, JAN; FREIBERGER, FRANZ; WENDL, GEORG; HARTMANN, WILFRIED.....	475
--	-----

Einfluss des sozialen Rangs auf das Tierverhalten bei verschiedenen Umtriebsformen beim automatischen Melken – Anwendung automatisierter Verfahren zur Schätzung des Rangs und des Aufenthalts im Fressbereich <i>Influence of the social rank on animal behaviour at different forms of cow traffic on automatic milking – Implementation of automated procedures to estimate the rank and the length of stay in the feeding area</i> HARMS, JAN; WENDL, GEORG.....	481
--	-----

Automatic cluster removal and incomplete milking <i>Automatische Abnahme des Melkzeuges und unvollständiges Melken</i> LAURS, ARMINS.....	487
---	-----

Auswirkungen automatischer Melksysteme auf die Arbeitswirtschaft und Wirtschaftlichkeit in der Milchviehhaltung – Ergebnisse des BMVEL-Modellvorhabens 2001/03 I <i>Effects of automatic milking systems on labour and economy on dairy farms – Results of the BMVEL-Pilot-Project 2001/03 I</i> LEHMANN, BERND; BAUMEISTER, JOCHEN; KLINDTWORTH, MICHAEL; GIERSE, ANDREAS; OHNESORGE, MELANIE; KLINDTWORTH, KLAUDIA; HARTMANN, WILFRIED .....	493
--	-----

Funktionssicherheit von automatischen Melksystemen <i>Cluster fixation accuracy of automatic milking systems</i> NEUFFER, ISABELLE; GYGAX, LORENZ; HAUSER, RUDOLF; KAUFMANN, CHRISTINE; WECHSLER, BEAT .....	499
On-farm-Milchanalyse - eine vielversprechende Herausforderung <i>On-farm-analysis of milk – a promising challenge</i> ORDOLFF, DIETER .....	505

### **Fütterungstechnik**

Weighing systems for TMR-Mixers <i>Wiegesysteme für TMR-Futtermischer</i> GJØDESEN, MADS URUP .....	511
Marker-assisted fermentation of starter cultures for silage <i>Marker-gestützte Fermentation von Starterkulturen für die Silierung</i> KLOCKE, MICHAEL; IDLER, CHRISTINE; MUNDT, KERSTIN .....	517
Totalmischration (TMR) versus Grundmischration und individueller Krafftutterzuteilung bei hohem Grundfutteranteil für Milchkühe <i>Total mixed ration (TMR) versus basic mixed ration and individual concentrate allocation with a high proportion of basic feed for dairy cows</i> NYDEGGER, FRANZ; SCHICK, MATTHIAS .....	523
Viskositätssenkung von Flüssigfutter durch den Futterenzymkomplex Rovabio™ Excel <i>Viscosity Reduction of Liquid Feed by Addition of the Enzyme Composition Rovabio™ Excel</i> TÜRK, MENO; JACOB, STEFAN; ZENKE, THOMAS .....	529

### **Management und Arbeitswirtschaft**

Labour and Energy Consumptions of the Main Milking Centre Components in Different Characteristic Dairy Farms <i>Arbeitsaufwand und Energiebedarf für die wichtigsten Komponenten der Melkanlage in unterschiedlichen Milchviehbetrieben</i> ÖZ, HÜLYA; BILGEN, HAMDİ .....	535
Electric Energy Consumption on Large Dairy Farms <i>Verbrauch an Elektroenergie in großen Milchfarmen</i> VEGRICHT, JIŘI; MACHÁLEK, ANTONÍN; AMBROŽ, PAVEL .....	541

### **Umweltbelastung, Emissionen und Aufbereitung von Reststoffen**

Can the additive “Effective Micro-Organisms (EM)” reduce ammonia and greenhouse gas emissions from slurry stores? <i>Vermindert der Zusatz „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ NH<sub>3</sub>- und klimarelevante Emissionen aus Flüssigmistlagern?</i> AMON, BARBARA; KRYVORUCHKO, VITALI; AMON, THOMAS; MOITZI, GERHARD .....	547
--	-----

Influence of different levels of covering on greenhouse gas and NH <sub>3</sub> emissions from slurry stores <i>Wirkung verschiedener Abdeckungen auf Ammoniak- und klimarelevante Emissionen während der Flüssigmistlagerung</i> AMON, BARBARA; KRYVORUCHKO, VITALI; AMON, THOMAS.....	553
Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs <i>Ammoniak und klimarelevante Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine</i> AMON, BARBARA; PÖLLINGER, ALFRED; KRYVORUCHKO, VITALI; FRÖHLICH, MARTINA; MÖSENBACHER, IRENE; HAUSLEITNER, ANTON; AMON, THOMAS .....	559
Vergleich unterschiedlicher Maßnahmen zur Verminderung von Emissionen während der Güllelagerung <i>Comparison of different Measures for the Reduction of Emissions during Slurry Storage</i> BERG, WERNER; BRUNSCH, REINER .....	565
Teilhygienisierung von Rindergülle durch mehrstufige anaerobe Behandlung: Untersuchungen im Pilot-Maßstab <i>Hygienization of liquid cattle manure by multiple-stage anaerobic treatment: Investigations at pilot scale</i> EFFENBERGER, MATHIAS; BACHMAIER, JOHANNES; GARCÉS, GABRIELA; LEBUHN, MICHAEL; WILDERER, PETER A.; GRONAUER, ANDREAS.....	571
Erfahrungen und Stand der Zulassungsprüfung des Landkreises Cloppenburg für Abluftreinigungsverfahren in der Tierhaltung <i>Experiences and status in the Cloppenburg administrative district admission survey for waste gas treatment systems in animal husbandry</i> HAHNE, JOCHEN; ARENDS, FRIEDRICH.....	577
Nachrüstlösungen zur Abluftreinigung bei dezentraler Abluftführung in Altställen für die Schweinemast <i>Solutions to retrofit decentral ventilated pig barns with technical systems for exhaust air treatment</i> HÖLSCHER, RICHARD; BÜSCHER, WOLFGANG .....	583
Effect of vegetable oil waste added on composting of goat manure and wheat straw <i>Einfluß von gebrauchtem Pflanzenöl auf die Kompostierung von Ziegenmist und Stroh</i> KÜLCÜ, RECEP; YALDIZ, OSMAN.....	589
Reduction Heat Stress and Ammonia Emission in Slovak Animal Housing <i>Reduktion von Hitze-Stress und Ammoniak-Emissionen in Slowakischen Stallungen</i> ŠOTTNIK, JAROSLAV .....	595

Evaluierung von numerischen Modellen zur Ermittlung von Emissionen aus landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen <i>Evaluation of numerical models for determination of emissions from agricultural animal husbandry</i>	
WENSAUER, EDUARD; NESER, STEFAN; SCHNEIDER, FRIEDHELM; GRONAUER, ANDREAS .....	601

### **Rechnergestützte Systeme zur Tiererkennung, Herkunftskennung**

<i>Stand und Perspektiven der ISO-Standards für Tiererkennungssysteme</i> State of the art and perspectives of the ISO standards for animal identification systems	
ARTMANN, RUDOLF .....	607
Elektronische Tierkennzeichnung von Rindern – Praktische Anwendungsbereiche von „mobile Computing-Lösungen“ als Management- und Informationshilfen in der landwirtschaftlichen Tierhaltung <i>Electronic tagging of cattle – practical use of “mobile computing solutions” for comprehensive management information systems in animal agriculture processing</i>	
BRINKMANN, JOHANNES; ALBERS, DIRK.....	613
Call-recognition of farm animals to recognize animal conditions <i>Lauterkenner zur Bestimmung des Status von Nutztieren</i>	
JAHNS, GERHARD; WALTER, KLAUS .....	619
Feasibility of electronic ear tags for identification and registration: The sheep and goat case <i>Durchführbarkeit von elektronischen Ohrmarken für Identifizierung und Registrierung am Beispiel von Schafen und Ziegen</i>	
SMITS, DOLF; IPEMA, BERT; HOGEWERF, PIETER; SCHUILING, ERIK.....	625

### **Biogas**

Energetische Nutzung von Biogas in Brennstoffzellen <i>Energetical utilisation of biogas with fuel cells</i>	
AHRENS, THORSTEN; WEILAND, PETER .....	631
Nachhaltige Nutzung von Energiepflanzen in einer 2,3 MW Biogasanlage <i>Sustainable utilization of energy crops in a 2.3 MW biogas plant</i>	
HASSAN, ELHUSSEIN; WEILAND, PETER.....	637
Faktoren, die über die Wirtschaftlichkeit einer landwirtschaftlichen Biogasanlage entscheiden <i>Impacts of selected factors on economy of agricultural biogas plants</i>	
JÄGER, PETER; NIEBAUM, ANKE; DÖHLER, HELMUT.....	643
Hygienevorgaben für Biogasanlagen und deren technische Umsetzung <i>Sanitation-Requirements for biogas-plants and their technical implementations</i>	
KLAGES, SUSANNE; CHRISTIAN-BICKELHAUPT, ROSEMARIE; SCHNEICHEL, HANS-WALTER; PHILIPP, WERNER; MARCINISZYN, ELEONORE; HELM, MARKUS.....	649

## **Industrielle Entwicklungen**

Anlagen zur Trinkwasserversorgung in Schweineställen Planungsgrundsätze,  
Bewertungsmethoden und Schwachstellenanalyse

*Drinking water supply systems in pig shets – Rules of design, methods of  
evaluation and analysis of weak points*

MARKS, MICHAEL ..... 655

**AUTORENLISTE / LIST OF AUTHORS** ..... 661

# Entwicklungstendenzen in der Bau- und Verfahrenstechnik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung

## *Development trends in the field of farm buildings and techniques in connection with livestock farming*

FRANZ-JOSEF BOCKISCH

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Gebäudesysteme, Umweltschonung, Tiergerechtigkeit, Emissionen, Sensoren, Datenkommunikation, Wettbewerbsfähigkeit

**Keywords:** *Farm building systems, environmental protection, animal welfare, emissions, sensors, data communication, competitiveness*

### **Zusammenfassung**

Um Gebäudesysteme und Haltungsverfahren möglichst optimal zu gestalten, sind vielfältige und z. T. zielfelddivergierende Anforderungen zu berücksichtigen. Dazu zählen u. a. Umweltschonung, Tiergerechtigkeit, Gebäudeausführungen, Bau- und Verfahrenstechnik, Bau- und Verfahrenskosten, Einsatz von Sensoren und Aktoren, Datenkommunikation, rechtliche Rahmenbedingungen, Wettbewerbsfähigkeit, etc. Anhand einiger Beispiele werden Problematik und Lösungsansätze aufgezeigt. Zum Erreichen von Lösungen sind komplexe Zielvorgaben zu erfüllen, so dass die Ergebnisse in der Regel gute Kompromisse darstellen.

Zwei Teilbereiche werden genauer vorgestellt: Gebäude und Emissionen sowie Identifikations- und Sensortechniken einschließlich Datenkommunikation. Insgesamt ist es die Aufgabe von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, in diesem Gebiet neue Erkenntnisse für Praxis, Industrie, Politik und Forschung bereitzustellen, damit der Umwelt- und Tierschutz sowie die Wettbewerbsfähigkeit von Produktionsverfahren verbessert werden.

### **Summary**

To design farm building systems and animal husbandry in an optimal performance, then it is necessary to take in consideration multiple and in often cases divergent requirements. Such requirements are environmental protection, animal protection, performance of buildings, process technique, investment costs, processing costs, kind of sensors and facilities, data communication, legally determining factors, competitiveness etc. On the basis of some examples there are shown the problems and ways of solution. For the achievement of solutions it is necessary to take in account the complex requirements – but then it is also clear, that these solutions should be good compromises.

At two topics kinds of solutions are discussed: Farm buildings and emissions, identification and sensor techniques including data communication. The main aim of research and developing tasks are to reach new knowledge and data basis for agricultural praxis, industry, policy and research, to improve the agricultural production under the condition of environmental protection, animal welfare and competitiveness.

## 1 Einleitung und Probleme

Aspekte wie Umweltschonung, tiergerechte Haltungsverfahren, Investitions- und Verfahrenskosten einschließlich Facility-Management-Kriterien, rechtliche Rahmenbedingungen sowie Wettbewerbsfähigkeit, bezogen auf die Haltungssysteme haben heute eine enorme Bedeutung. Daher ist zu fragen, wie derartig komplexe Anforderungen an die Bau- und Verfahrenstechnik zu realisieren sind? Insgesamt wird es zukünftig mehr denn je gelten, multifunktionale Zielvorgaben bestmöglich umzusetzen – unabhängig, um welche spezielle Ausführung eines Haltungssystems es sich handelt.

Am Beispiel der Mastschweinehaltung werden nachfolgend Problembereiche aufgezeigt. Häufig werden Mastschweine in geschlossenen Gebäudekomplexen mit Zwangslüftungssystemen gehalten. Ein Vorteil dieses Systems ist, dass die Abluft kontrolliert nach außen abgeführt werden kann. Ein Hauptnachteil ist, dass die Investitions- und Verfahrenskosten in der Regel relativ hoch sind. Offene oder teiloffene Gebäude bzw. Freilandhaltung haben den Nachteil, dass die Emissionen unkontrolliert nach außen treten und somit keine weiteren Minderungsmaßnahmen möglich sind; vorteilhaft kann die Konfrontation mit dem Außenklima sein, da diese positive Effekte auf die Gesundheit der Tiere haben kann. Entwicklungen zur Reduktion von Emissionen sind aber bei allen Systemen anzustreben, insbesondere unter dem Aspekt der Umsetzung und Verbesserung von Vermeidungsstrategien. Auch die Arbeitsbedingungen für die Betreuungspersonen sind zu berücksichtigen.

Um die Anforderungen für eine verfahrenstechnisch gute sowie umwelt- und tierfreundliche Haltung gleichzeitig zu realisieren, bieten sich verschiedene bauliche Lösungen an. Für die Mastschweinehaltung bedeutet dies z. B. eine bauliche Differenzierung der Bucht in Fress-, Liege- und Laufbereich sowie einen Auslauf. Wird zudem Kot und Harn an einem bestimmten Mistplatz abgesetzt und schnell in entsprechende Lagerbehälter abgeleitet, so können die Luft getragenen Emissionen vergleichsweise niedrig gehalten werden; zu diesem Fragenkomplex ist jedoch noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf vorhanden.

## 2 Zielstellung und Vorgehensweise

Das Ziel für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten muss es sein, die vielfältigen und zum Teil divergierenden Anforderungen und Lösungsvarianten möglichst komplex umzusetzen, damit die Erkenntnisse der Praxis zugänglich gemacht werden können. Um solche Ziele zu erreichen, sind entsprechende Sensor-, Aktor- sowie Steuerungs- und Regelungstechniken zu evaluieren, anzupassen, weiter zu entwickeln und datenkommunikationstechnisch kompatibel zu gestalten. Weitere Stichworte für Bereiche, in denen Handlungsbedarf vorhanden ist, sind genormte Datenkommunikation (z. B. ISO- und DIN-Normen), Baukostenermittlung und -vergleiche mit EDV, Ressourcen schonendes Bauen, Nutzung von Reststoffen aus der Tierhaltung sowie Verwendung erneuerbarer Energiequellen und Rohstoffe für Produktionsverfahren, Emissionsminderung, tierfreundliche Haltungssysteme, Qualität von Arbeitsverfahren und Ergonomie, Produktionskosten, Produktqualität und Prozessqualität.

Die Forschungsergebnisse zu diesem komplexen Themenbereich sind auch wichtige Entscheidungshilfen für die Beratung des BMVEL als Grundlage für rechtliche Rahmenbe-

dingungen und Wettbewerbsfähigkeit. Innerhalb dieses Beitrags werden anhand von zwei Beispielsbereichen Lösungsansätze aufgezeigt.

### 3 Beispiele für Lösungsansätze

#### 3.1 Gebäude und Emissionen

In geschlossenen Gebäudesystemen können in Verbindung mit Zwangslüftungs- bzw. Klimaanlage kontrollierte Abluftvolumenströme erzeugt werden. Diese ermöglichen es, dass die in der Abluft vorhandene Wärme zurück gewonnen werden kann; hierzu gibt es verschiedene technische Lösungen. Mit derartigen Techniken kann Primärheizenergie eingespart werden und so der CO<sub>2</sub>-Ausstoß je Tier bzw. Stalleinheit reduziert werden. In Verbindung mit kontrollierten Abluftvolumenströmen ist es auch möglich, die Abluft mit entsprechenden Techniken zu reinigen und/oder zu recyceln (VORLOP et al., 2003). Der Einsatz solcher Techniken ist sinnvoll, wenn durch verfahrenstechnische Maßnahmen unter dem Aspekt der Vermeidungsstrategien keine weiteren Emissionsreduzierungen mehr möglich sind. Zu den Emissionsvermeidungsstrategien – die unbedingt bei offenen oder teiloffenen Haltungssystemen eingesetzt werden sollten – zählen u. a. die individuelle bedarfsangepasste Futterapplikation bei Mastschweinen (dies gilt auch für andere landwirtschaftliche Nutztierarten und Produktionsrichtungen), keine längerfristige Lagerung von Exkrementen im Gebäude, möglichst getrennte Ableitung von Kot und Harn aus dem Stallbereich, emissionsarme Lagerung von Fest- und Flüssigmist, trockene Lauf- und Liegeflächen etc.

Geschlossene Gebäude haben derzeit den Nachteil, dass die Bau- und Verfahrenskosten im Vergleich zu offenen Gebäuden oder ganzjähriger Außenhaltung höher sind. So können die Investitionskosten für die Gebäude bis zu 35 % differieren zu Gunsten der offenen Gebäudesysteme (z. B. GARTUNG und UMINSKI, 2001). Aktuelle Investitionskostenermittlungen und -vergleiche ergeben, dass übliche geschlossene Stallsysteme für Mastschweine rund 440–550 € pro Stallplatz betragen (z. B. GARTUNG et al., 2002). Aus der Sicht der Tiere sind solche Systeme auch tiergerecht ausführbar. Daher gilt es mehr denn je, für „emissionsarme Gebäudesysteme“ die Kosten zu reduzieren. Ansätze dazu sind Fertigbauweisen, Reduzierung des Primärenergieaufwandes für den Betrieb der Gebäudesysteme, effiziente und kostengünstige Techniken für Energierückgewinnung, Reststoffnutzung und Abluftreinigung/-recycling etc.

Um den Aufwand für Gebäude zu reduzieren und dennoch die Möglichkeit kontrollierter Abluftvolumenströme zu haben, können auch geänderte Dachkonstruktionen Lösungen sein (Abb. 1). Mit kegelförmigen Dachausführungen sind gute Grundvoraussetzungen vorhanden – auch ohne Seitenwände und Zwangslüftungsanlagen – am „Hochpunkt“ einen kontrollierten Abluftvolumenstrom zu erreichen. Diese Ausgangsvoraussetzung wird erreicht durch die – im Vergleich zu üblichen Satteldachkonstruktionen – große Höhendifferenz zwischen Luft- eintritt und dem Hochpunkt. Durch diese beiden wichtigen konstruktiven Merkmale können mittels Thermik im oberen Bereich des Daches relativ hohe Abluftgeschwindigkeiten erreicht werden.



Abb. 1: Gebäude mit Hochpunktmembranen

Ein weiterer Ansatz, um die genannten Ziele – möglichst in Kombination mit weiteren Lösungsteilschritten – zu erreichen, ist die Verwendung von schnell nachwachsenden Rohstoffen als Baumaterial sowie der Einsatz weiterer „natürlicher Bauweisen“. In derzeit laufenden Untersuchungen des Instituts (z. B. GEORG et al., 2004) werden in der Kälbergruppenhaltung Prototypen von Kälberschutzhütten/-pavillons eingesetzt, die aus so genannten LNS-(Light Natural Sandwich)Werkstoffen hergestellt sind und zugleich mit einer Dachbegrünung ausgestattet wurden. Vorteile einer derartigen Bauweise sind geringer CO<sub>2</sub>-Ausstoß (schon beim Herstellungsprozess der Baustoffe), eine höhere Wärmedämmung und Kühleffekte während der Sommerzeit.

Ein Beispiel aus den Niederlanden zeigt, dass eventuell auch „ganz andere“ baulich-verfahrenstechnische Lösungsmöglichkeiten in Frage kommen können, indem Teile der landwirtschaftlichen Produktion in sog. Delta- bzw. Agrarproduktionsparks konzentriert werden könnten (DE WILT et al., 2000). Ein Vorteil wäre, dass mit solchen Produktionssystemen die Emissionen aus Tierhaltungsanlagen relativ gering gehalten werden könnten. Nachteile solcher Produktionsparks wären der Transport des Futters an zentrale Stellen, ein erhöhtes Seuchenrisiko, relativ hohe Investitions- und Verfahrenskosten und Probleme, in solchen Anlagen tiergerechte Haltungssysteme zu verwirklichen.

### 3.2 Identifikations- und Sensortechniken sowie Datenkommunikation

Um die Qualität von Haltungssystemen kontinuierlich zu verbessern ist es notwendig, neben tier- und/oder gruppenspezifischen Parametern auch solche zu erfassen, die die aktuelle Umgebung der Tiere exakt beschreiben. Beispielsweise ist es mit Hilfe von Thermografieaufnahmen und -analysetechnik möglich, die spezielle Umgebungssituation von einzelnen

Tieren oder Tiergruppen hinsichtlich der aktuellen Temperaturverhältnisse genau zu bestimmen.

Erfasst man diese Information zunächst offline, so sind genaue Hinweise zu bekommen, wie die aktuelle Klimasituation für die Tiere aussieht, und es können Schlussfolgerungen für die Gestaltung der Gebäude, der Funktionsbereiche sowie für die Makro- oder Mikroklimatebereiche gezogen werden (z. B. GEORG, 1997; WEBER et al., 2001). Schafft man es durch zielgerichtete Weiterentwicklungen, zukünftig die Thermografiertechnik als „Online-Sensortechnik“ in Gebäudesystemen einzusetzen, so besteht die Möglichkeit, über diesen komplexen Sensor aktiv Klimatechniken automatisch zu regeln, um die Situation für Mensch, Tier und Umwelt möglichst optimal zu gestalten. Die Chancen werden umso größer, wenn Daten über die Thermografiertechnik kombiniert werden mit Informationen über die Temperatur in speziellen Gebäudebereichen, die relative Luftfeuchte, die Luftgeschwindigkeit, die Lüftung, die Schadgaskonzentrationen etc. Die Thermografiertechnik kann z. B. auch eingesetzt werden, um Daten über den Gesundheitsstatus oder zum Östrus bei Rindern zu bekommen (z. B. HELLEBRAND et al., 2003).

Die Erfassung von aktuellen Aufenthaltsbereichen von Tieren und deren aktueller Aktivität ist eine weitere Informationsquelle, um Haltungsverfahren zu verbessern. Derartige Daten sind beispielsweise über weiterentwickelte Bilderfassungs- und -analyseverfahren sowie in Kombination mit anderen Verfahren (z. B. GPS-Techniken, z. B. WHITIER, 2003; z. B. Firma Abatec, 2004) automatisch erfassbar. Die Kenntnis über die Sauberkeit von Tieren oder Körperpartien kann viele Rückschlüsse auf deren Zustand und die Situation im Stall zu lassen. Um dazu präzise aktuelle Kenntnisse zu erhalten, bieten sich automatisch analysierende spektroskopische Verfahren an (z. B. ORDOLFF, 2003).

Ein weiterer Ansatz, um die Situation für die Tiere – und damit auch für Produktionsverfahren – zu verbessern, ist die Erfassung von Lautäußerungen, um aktuelle Informationen über den Zustand bzw. das Wohlbefinden der Tiere zu bekommen (z. B. SCHRADER und TODT, 1998; SCHÖN et al., 2001). Diese Möglichkeiten sollen an zwei Beispielen verdeutlicht werden. Untersuchungen von MAYER et al. (2000) mit Mastschweinen zeigen Zusammenhänge zwischen der Frequenz von „Schreien“ einer Schweinegruppe mit der aktuellen Umgebungstemperatur auf. So nimmt der Anteil der Schreie ab, wenn die Umgebungstemperatur zunimmt. Diese Information könnte als Stellgröße für Stallklimaanlagen fungieren. Nach Versuchen von JAHNS (2002) – siehe auch IKEDA et al., 2003; JAHNS et al., 2005 in diesem Tagungsband – können spezielle Lautäußerungen von Milchkühen identifiziert werden; im Versuchsstadium ist dies z. T. schon mit hoher Erkennungssicherheit möglich. So können Laute, die „Hunger“ anzeigen, mit einer Erkennungsrate von nahezu 100 % richtig erkannt werden.

Für Landwirte wäre es zukünftig sinnvoll, möglichst frühzeitig die Zusammensetzung der Schlachtkörper bei Mastschweinen vorhersagen zu können, um die Möglichkeit zu haben, noch während der Mast steuernd einzugreifen. Es wäre z. B. sinnvoll, den genauen Zeitpunkt zu erkennen, bei denen die Tiere ein entsprechendes Mastendgewicht bei erwünschter Körperzusammensetzung erreicht haben. Mastschweine werden üblicherweise in Gruppen gehalten; unter diesen Bedingungen ist es schwierig, einzeltierspezifisch Futter zu verabreichen, eine individuelle Futterverwertung festzustellen oder Informationen über die aktuelle Rückenspeckdicke bzw. die komplette Körperzusammensetzung zu erhalten.

All dies wäre leichter zu realisieren, wenn die Mastschweine einzeln oder in Kleinstgruppen gehalten würden. Doch eine solche Haltungform wäre weder tiergerecht noch arbeitswirtschaftlich und verfahrenskostenmäßig günstig. Daher muss nach Lösungen gesucht

werden, die unter den Bedingungen der Gruppenhaltung möglichst automatisch und kontinuierlich aktuelle tierindividuelle Informationen liefern. Dazu bieten sich zukünftig die automatische Rückenspeckdickenerfassung (z. B. HESSE, 2003), ein automatisches „Body-Scoring“ (z. B. Fa. Leuschner), Wiege- und Vermessungstechniken, bioelektrische Impedanzanalyse etc. an (BOCKISCH et al., 2004).

Je mehr Basisdaten zu erfassen und zu verarbeiten sind und dies mit den unterschiedlichsten Erfassungssystemen und Sensortechniken, umso wichtiger ist es, die Daten über genormte Schnittstellen zusammen zu führen und online auszuwerten, damit Produktionsprozesse gesteuert und geregelt werden können. Solche Erfassungs- und Verarbeitungssysteme können z. B. neuronale Netze, Fuzzy-Logic und Clusteranalysen sein, um online entsprechende Akteure in der Gebäude- und Verfahrenstechnik zu regeln. Dazu ist es notwendig, die einzelnen Elemente der Datenerfassungs- und -verarbeitungssysteme im Rahmen von Netzwerksabstimmungen kompatibel zu machen. Hierzu laufen derzeit auf internationaler Ebene Normungsarbeiten, um im Rahmen neuer ISO-Normen Datenerfassungstechniken, Rechnersysteme und Datennetze kompatibel zu gestalten (z. B. ARTMANN, 2003a, 2003b, 2005 – in diesem Tagungsband). Diese Arbeiten sollen in einem ersten Schritt bis April 2006 abgeschlossen sein.

## 4 Schlussfolgerungen

Nur mit einer zielgerichteten Weiterentwicklung der Bau- und Verfahrenstechnik in der Nutztierhaltung wird es zukünftig möglich sein, den vielfältigen und komplexen Anforderungen gerecht zu werden. Dazu ist in allen Teilbereichen modernste Technik und das aktuellste Know-how aus Forschung und Entwicklung einzusetzen. Beispielsweise sind automatische individuelle Identifikations- und Sensortechniken unabdingbare Voraussetzung für verfahrenstechnisch verbesserte, emissionsarme und tiergerechte Haltungssysteme.

So werden z. B. individuelle Tier- und Umgebungskriterien sowie Emissionsparameter als Stellgrößen fungieren; der Einsatz von Sensortechniken mit Online-Analyseverfahren sowie die Erfassung verschiedener Parameter einschließlich einer komplexen Online-Datenverarbeitung werden selbstverständlich; Gruppenhaltungsverfahren mit differenzierten Funktionsbereichen werden sich etablieren; Kriterien der Wettbewerbsfähigkeit und der Nachhaltigkeit (z. B. Baustoffe aus schnell nachwachsenden Rohstoffen) werden weiter an Bedeutung gewinnen.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesen Themenbereichen sind vor allem auch notwendig, um die Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft sowie die der Industrie im vor- und nachgelagerten Bereich unter dem Aspekt der Globalisierung zu gewährleisten und als Entscheidungshilfen für die entsprechenden Ressorts.

## 5 Literatur

Die Literaturliste kann beim Autor angefordert werden ([franz.bockisch@fal.de](mailto:franz.bockisch@fal.de)).

## Anforderungen an die Bau- und Verfahrenstechnik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung aus der Sicht des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL)

HERMANN SCHLAGHECK

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), Rochusstr. 1, D-53123 Bonn

Die Erzeugung tierischer Produkte ist unverändert eine der tragenden Säulen der deutschen Landwirtschaft, die den überwiegenden Teil der Verkaufserlöse in der Tierhaltung erwirtschaftet. So ist Deutschland in der Schweinefleischerzeugung die Nummer 1 in Europa. Die Fleischnachfrage hat sich wieder auf einem insgesamt hohen Niveau eingependelt. Hohe Selbstversorgungsgrade auf dem Binnenmarkt, Nachfrage- und Preisschwankungen und enge Gewinnmargen zwingen aber dazu, Rationalisierungsvorteile in den Betrieben zu nutzen. Hierfür sind Investitionen unverzichtbar. Zu den zentralen Entscheidungen der landwirtschaftlichen Unternehmerinnen und Unternehmer – die oft auch die nächste Generation mit betreffen – gehört die bauliche Investition in eine Tierhaltungsanlage.

Mit der 7. Internationalen Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung wird das gesellschaftliche Anforderungsprofil an die Tierhaltung zu einem ganzheitlichen Bild zusammengefügt. Der Bund hat die Aufgabe, zur Erfüllung des Anforderungsprofils beizutragen, z. B. durch die Gestaltung rechtlicher Genehmigungsverfahren sowie der staatlichen Förderung neuer Anlagen, um die Umweltverträglichkeit und Tiergerechtigkeit in der Tierhaltung zu gewährleisten. Gleichzeitig soll die Wettbewerbsfähigkeit der Tierproduktion im internationalen Vergleich gestärkt werden. Dies kann zu Zielkonflikten führen.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen der Errichtung von Nutztierhaltungsanlagen wurden mit dem Europarechtsanpassungsgesetz Bau verbessert. Der geänderte § 201 Baugesetzbuch stellt für den Bereich des Bauplanungsrechts klar, dass Anlagen der Nutztierhaltung zur Landwirtschaft zählen, soweit auf den Flächen, die zu der Anlage gehören, das für die Nutztiere benötigte Futter überwiegend produziert werden kann. Somit ist sichergestellt, dass solche Anlagen an der bauplanungsrechtlichen Privilegierung der Landwirtschaft teilhaben.

Es ist immer wieder beklagt worden, dass Genehmigungsverfahren für Stallbauten in Deutschland – trotz einheitlicher Rechtslage – regional unterschiedlich ablaufen. Hinzu kommt, dass aufgrund der Umsetzung EU-rechtlicher Bestimmungen zur Emissionssenkung schärfere Anforderungen an die Tierhaltung zu beachten sind. Gleichzeitig wird von den Landwirten erwartet, dass sie ein Höchstmaß an Tiergerechtigkeit in den Haltungssystemen gewährleisten. Bei der Planung und Genehmigung von Anlagen sind diese Ziele oft nur schwer zu vereinbaren.

Um hier zu helfen, wird derzeit auf wissenschaftlicher Grundlage unter Federführung von Forschungsinstitutionen des Bundes der „Nationale Bewertungsrahmen zur Beschreibung des Standes der Technik bei Tierhaltungsanlagen“ erstellt. Er soll den Genehmigungsbehörden der Länder insbesondere bei den schwierigen Abwägungsfragen zwischen den Anforderungen des Immissionsschutzrechts einerseits und des Tierschutzrechts andererseits die not-

wendige Unterstützung bieten. Dies wird zu mehr Transparenz und zur Beschleunigung im Vollzugsverfahren beitragen.

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse und technische Errungenschaften finden über Neuinvestitionen am schnellsten Eingang in die Praxis. Die einzelbetriebliche Investitionsförderung zählt zu den klassischen Instrumenten der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ und trägt in erheblichem Maße zur Modernisierung der Tierhaltung in der Landwirtschaft bei. Im Rahmen des Agrarinvestitionsförderungs-Programms (AFP) sind z. B. im Jahr 2002 von rd. 4.500 Zuwendungsempfängern insgesamt 576 Mio. Euro für Gebäudeinvestitionen in Anspruch genommen worden; hiervon entfielen 361 Mio. Euro auf Stallgebäude.

Etwa die Hälfte der geförderten Stallbauinvestitionen wurden nach Maßgabe der Anlage 2 des AFP für besonders tiergerechte Haltungsverfahren ausgestaltet. Dies zeigt das Interesse eines Großteils der Investitionswilligen an der Verbesserung der Tiergerechtigkeit in der Nutztierhaltung. Der 2004 durchgeführte Bundeswettbewerb „Landwirtschaftliches Bauen“ mit dem Thema „Kälber- und Jungviehaufzuchtställe für die Milchviehhaltung“ hat eine Vielzahl beispielhafter, tiergerechter Stallbaulösungen für die Fachöffentlichkeit sichtbar gemacht.

Neben den Anforderungen an moderne Stallgebäude und Haltungstechniken kommt dem Management in der Tierhaltung immer größere Bedeutung zu. Nachdem bereits in der Pflanzenproduktion der Elektronikeinsatz weit fortgeschritten ist, steht jetzt in der Tierhaltungspraxis die elektronische Prozesssteuerung vor dem Durchbruch. Elektronisch gestütztes Qualitätsmanagement soll die lückenlose Dokumentation der Produktionsabläufe sicherstellen, die Rentabilität der Produktion verbessern und die Anforderungen von Handel und Verbraucher an eine hervorragende Produktqualität und -sicherheit erfüllen.

Der EU-rechtliche Einstieg in die elektronische Tierkennzeichnung – bei Schafen und Ziegen – ist beabsichtigt. Zukünftig wird die Elektronik auch in der betrieblichen Tierüberwachung und darüber hinaus auch für die Teilnahme an Qualitätsmanagement-Programmen eingesetzt werden. Hier ist noch Forschungsbedarf gegeben. Von großer Bedeutung wird die Verständigung auf standardisierte Datenformate für den EDV-gestützten Datenaustausch sein. Dies hat die Industrie erkannt. Es ist davon auszugehen, dass durch die Gremienarbeit schon bald praktikable Lösungen zur Verfügung stehen.

Viele Landwirte stehen – auch angesichts der Konsequenzen aus der Agrarreform – vor der Frage, ihre Tierhaltung weiter zu spezialisieren und zu intensivieren oder ihre Einkommensbasis zu verbreitern und zu diversifizieren. Gerade dort, wo die Standortsituation eine weitere Intensivierung nicht ermöglicht, bietet der Staat günstige Rahmenbedingungen für zusätzliche Einkommensalternativen.

Mit dem Europarechtsanpassungsgesetz Bau ist die Genehmigungsfähigkeit von Biomasseanlagen, deren Betrieb gerade in Unternehmen der Nutztierhaltung lohnend sein kann, erheblich verbessert worden. Bisher waren Biomasseanlagen im Außenbereich nur unter bestimmten Vorgaben an Stromverbrauch und -erzeugung genehmigungsfähig. Solche Restriktionen hemmten die Entstehung rentabler Biomasseanlagen vor allem bei kleinen und mittleren Betrieben. Diese Mängel wurden durch Aufnahme eines eigenständigen Privilegierungstatbestandes für Biomasseanlagen im Baugesetzbuch behoben. Außerdem ist durch das Energie-Einspeisegesetz auch die Einspeisevergütung verbessert worden.

Eine für Tierhaltungsbetriebe interessante Einkommenskombination ist die Direktvermarktung. Nach einer im Auftrag des BMVEL durchgeführten Analyse kaufen inzwischen zwei Drittel aller Verbraucher in unterschiedlicher Intensität direkt beim Bauern ein. Die Direkt-

vermarktung wird von vielen Betrieben immer professioneller betrieben. 2003 lag ihr Umsatz bei drei bis dreieinhalb Milliarden Euro.

Wichtige Fortschritte wurden auch bei der Genehmigungsfähigkeit der Umwandlung ehemals landwirtschaftlich genutzter Gebäude erzielt. Bisher galt, dass Gebäude, die vor dem 27. August 1996 errichtet worden waren, gemäß § 35 Abs. 4 Baugesetzbuch erleichtert umgewandelt werden durften, später errichtete Gebäude hingegen nicht. Mit dem Europa-rechtsanpassungsgesetz Bau wurde diese starre Stichtagsregelung gestrichen. Künftig können alle landwirtschaftlichen Gebäude umgenutzt werden, sofern sie nur vor mehr als sieben Jahren zulässigerweise errichtet worden sind.

Die FAL als Forschungseinrichtung des Bundes stellt mit dieser wissenschaftlichen Fachtagung die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung zur Diskussion. Für das BMVEL ist dieser Erfahrungs- und Informationsaustausch wichtig, ergeben sich daraus doch wertvolle Grundlagen für seine Entscheidungen.

## ***Requirements of structural and process engineering in livestock farming – point of view of the Federal Ministry of Consumer Protection, Food and Agriculture (BMVEL)***

**HERMANN SCHLAGHECK**

Federal Ministry of Consumer Protection, Food and Agriculture (BMVEL), Rochusstr. 1, D-53123 Bonn

The supply with animal products is still one of the most important branches of German agriculture, which generates its prevailing part of profit from livestock farming. Germany is number one in Europe regarding pork production. The pork demand has recovered on a generally high level. High rates of self supply on the inland market, changes of demand and prices and small profit margins force the farmers to use advantages from rationalization. This requires investments. One of the major decisions for farm managers – often concerning the next generation – is to invest in constructions for animal husbandry.

The 7<sup>th</sup> International Conference on Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming will complete the profile of social demands on livestock farming to a unique picture. The Federal Authority has the task to contribute the implementation of this profile, e. g. by clear-cut jurisdictions according to permit procedures as well as support of new facilities to guarantee environmental compatibility and animal welfare in livestock production. At the same time the ability of livestock farming to compete on international scale has to be improved. This may cause a conflict of aims.

The legal frames for construction of farm buildings for animal production have been improved by the German “Europarechtsanpassungsgesetz Bau”, the German act for adaptation of the European Law on Construction. Paragraph 201 of the German Construction Code (Baugesetzbuch) clarifies that livestock housings accounting to this law are part of agriculture as long as the surrounding areas supply most of the fodder needed for animal production. This guarantees that they are covered by the privileges of the building code law for agriculture.

There have been complaints that permit procedures for farm buildings differ depending on region in Germany, despite uniform legal basis. Additionally, according to European law demanding reduction of emission, animal farmers have to increase efforts to meet these requirements. At the same time, farmers are supposed to maintain a maximum of animal welfare during production. Planning and enquiring permission for new animal production buildings, these goals are often difficult to combine.

To be of assistance in this field, federal research institutes in charge set up at present on basis of science the „National frame for judgment on the state of art in livestock farming“. This is especially meant as help to support Federal States Authorities in cases, where it is difficult to find balance between emission law demands and animal protection law. On the whole, it will contribute to more transparency and speed up the mode of execution.

New scientific insights and technical achievements enter practice the fastest by new investments. The governmental financial aid for individual farming is one of the classical instruments of the common task „Improvement of rural structure and coast protection“ and contributes substantially to the modernising of livestock farming. Within the frame of the federal program to support agricultural investments (Agrarinvestitionsförderungs-Programm [AFP]) in

2002 for example, 4.500 farmers received a total of 576 million Euro to invest in buildings, 361 million thereof were used for construction of stables.

About half of the incentives for stable constructions support especially housing systems complying with animal welfare requirements according to enclosure 2 of the AFP. This shows the major part of people willing to invest are interested in improvement of animal welfare in livestock farming. The Federal competition on „Farm Building“ in 2004 on the topic „Housings for calf and young stock rearing in dairy farming“ presented a large variety of exemplary solutions for housing systems sufficing animal welfare to the professional audience.

Besides the demands on modern animal housings and housing techniques, management becomes moreover important in livestock farming. Following the sophisticated use of electronics in crop production, computer-aided process control is about to have a break-through in animal keeping. Electronic aided quality management will assure gapless documentation of production processes, it will improve production profitability and meet trade and consumers requirements on first class quality products and product safety.

The introduction of electronically identification of animals in EC law – for sheep and goats – is intended. In future electronics will be used for surveillance of animals and for implementation of quality management as well. Regarding this field more research is needed. To settle standardised data formats for the exchange of electronic data will be of utmost importance. Industry has recognised this already. It is supposed that in the near future practicable solutions will be found by groups of experts.

Many farmers – with view to the consequences of the agricultural reforms - are affected by the question, whether to invest money and to specialise their livestock farming or to provide a broad range as basis for income and to diversify. Especially where the particular situation of the farmstead does not allow intensifying of livestock farming, the state offers favourable frame conditions for additional possibilities of income.

The adopting of the National Building Code Law (Baugesetzbuch) to the new European code law „Building“ has considerably improved the chances for permit for biomass converters, which are especially profitable for farms with livestock farming. By now biomass converters were not allowed in the open area, except under special regulations dealing with power consumption or power supply. Such restrictions hampered the building of profitable biomass converters especially on small and medium sized farms. These obstacles were abolished by the addition of a privilege for biomass converters into the building code law. The energy feeding input law (Energie-Einspeisungsgesetz) improved considerably the prices for energy feeding input as well.

An interesting combination of branches of income for livestock farmers is the direct marketing. According to an analysis run by order of the Federal Ministry of Consumer Protection, Food and Agriculture (BMVEL) meanwhile two thirds of the consumers buy directly on farms – more or less intensively. Many farms become professionals in direct marketing more and more. In 2003 their sales ranged between three and three and a half thousand million Euro.

Important progress has been achieved for the permit procedures for changing purpose of former agricultural buildings. By now the rule was that change of buildings erected before August 27, 1996 was facilitated by § 34 (4) of the building code law; but was not for newer buildings. With the adopted European Code Law „Building“ this rigid regulation is cancelled. In future all agricultural buildings can be reused, if they have been built more than seven years ago with permit.

The FAL as a research plant of the Federal Government by this scientific conference offers current developments in the field of livestock farming for discussion. This exchange of experience and information is important for the BMVEL, as it delivers valuable basis for its decisions.

## **Neubau von Geflügelställen – Bauplanungen, Baukonstruktionen, Baukosten**

### ***Newly constructed poultry stables – planning, structural design, construction costs***

**JÜRGEN GARTUNG, KERSTIN UMINSKI, MELANIE HARTWIG, CHRISTEL HOCH**

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter: Masthähnchen, Puten, Legehennen, Neubau, Baukosten**  
**Keywords: Broiler, turkey, laying hens, new building, construction costs**

### ***Zusammenfassung***

*Um den Investitionsbedarf von Geflügelställen besser einschätzen zu können, wurden die Neubaukosten für Hähnchenmastställe, Putenmastställe und Legehennenställe eingehend untersucht. Die Auswahl der zu bearbeitenden Haltungsverfahren und Bestandsgrößen wurde von verschiedenen KTBL-Arbeitsgruppen festgelegt.*

*Die Grundlagen für die Stallmodelle stammen aus gebauten und abgerechneten Bauvorhaben. Die Planungs- und Baukostendaten wurden nach dem Baukosten-Verbundsystem des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL aufbereitet.*

### ***Summary***

*In order to better estimate the investment costs for newly constructed poultry stables, a detailed investigation was made of the costs for broiler, turkey and laying hen stalls. For the study, the conditions were set by various KTBL Working Groups. The data was drawn from construction projects already completed and paid for.*

*The planning and construction cost data were subsequently processed using the Construction Cost Network Program of the Institute for Production Engineering and Building Research of the German Federal Agricultural Research Centre.*

## 1 Problemstellung

Um Fehlinvestitionen beim Neubau von Geflügelställen zu vermeiden, sollten Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Kostenvergleiche alternativer Lösungen bereits in sehr früher Planungsphase erfolgen. Für den Vergleich sind Orientierungsdaten erforderlich, die sich auf die betreffenden Nutzeinheiten beziehen.

Bisher waren entsprechende Kostenkennwerte für Hähnchen- und Putenställe nicht in dem Maße verfügbar, wie das für Rinder-, Schweine-, Pferde- und Legehennenställe der Fall war. Vor dem Hintergrund der verschärften Bedingungen für Legehennenhaltung in Deutschland waren die vorhandenen Kostendaten zu überarbeiten und zu ergänzen.

## 2 Aufgabenstellung

Erarbeitung von Kostenkennwerten für den Neubau von Hähnchen- und Putenmastställen für unterschiedliche Gebäudegrößen und Bauausführungen. Überarbeitung der Stallmodelle für Legehennenhaltung nach den verschärften Bedingungen in Deutschland vom 01.01.2003.

## 3 Methode

Das Baukosten-Verbundsystem des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL bildet die Basis für die Zusammenstellung von Kostenkennwerten. Es ermöglicht die Aufbereitung der Baukostendaten, die aus gebauten und abgerechneten Bauvorhaben stammen, nach Kostenblöcken, Kostengruppen, Gebäude-Grobelementen und Gebäudeelementen.

## 4 Auswahl von Stallsystemen

Die Arbeit erfolgte im Rahmen des KTBL-Arbeitsprogramms „Kalkulationsdaten“. Die Auswahl der zu bearbeitenden Haltungssysteme, Bestandsgrößen und Bauausführungen erfolgte deshalb mit Fachleuten verschiedener KTBL-Arbeitsgruppen.

### 4.1 Bestandsgrößen und Stalltypen für die Hähnchenmast:

- Konventioneller Massivstall mit 20000, 30000 und 40000 Mastplätzen  
23 Hähnchen/m<sup>2</sup> Stallfläche (HM 03001-3)
- Offenstall mit 20000, 30000 und 40000 Mastplätzen  
23 Hähnchen/m<sup>2</sup> Stallfläche (HM 04001-3)

### 4.2 Bestandsgrößen und Stalltyp für die Putenmast:

- Offenstall mit 3700, 5600 und 7400 Mastplätzen  
4,4 Puten/m<sup>2</sup> Stallfläche (Endmast mit gemischter Einstallung) (PM 01001-3)

### 4.3 Bestandsgrößen und Stalltypen für die Legehennenhaltung:

- Bodenhaltung mit Schlepper-Entmistung für 3000, 5000 und 7000 Legehennen  
7 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 01007-9)
- Bodenhaltung mit Schlepper-Entmistung für 3800, 6500 und 9000 Legehennen  
9 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 010010-12)
- Bodenhaltung mit Kotband-Entmistung für 3000, 5000, und 7000 Legehennen  
7 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 010013-15)
- Bodenhaltung mit Kotbandentmistung für 3800, 6500 und 9000 Legehennen  
9 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 010016-18)
- Bodenhaltung, Kaltscharraum, Schlepperentmistung für 3000, 5000 und 7000  
7 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 02004-6)
- Bodenhaltung, Kaltscharraum, Schlepperentmistung für 3800, 6500 und 9000  
9 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 02007-9)
- Voliere/Etagensystem mit belüftetem Kotband für 5000 und 7000 Legehennen  
15 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 03001-2)
- Voliere/Etagensystem für 19000 Legehennen  
18 Legehennen/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 03004)

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Hähnchenmast

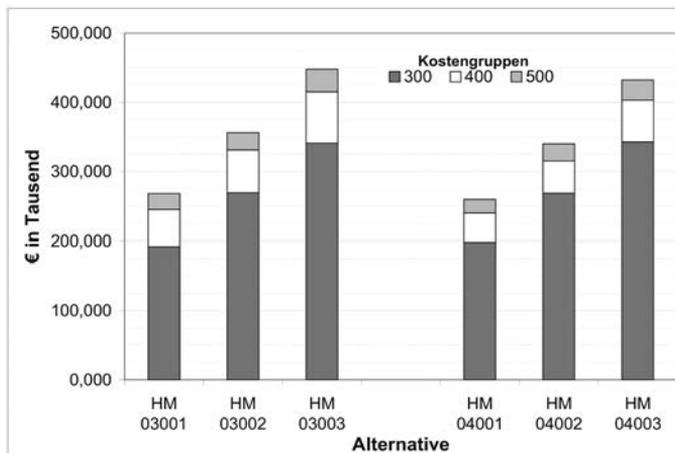


Abb.1: Investitionsbedarf für Masthähnchenställe nach Kostengruppen

In Abbildung 1 ist der Investitionsbedarf für den Neubau von Masthähnchenställen dargestellt. Die Säulen zeigen auch den jeweiligen Anteil der betreffenden Kostengruppen (KG). Die Definitionen für die KG 300, Bauwerk-Baukonstruktionen, KG 400, Technische Anlagen und KG 500 für die Außenanlagen entsprechen der deutschen Norm (DIN 276), Kosten von

Hochbauten. Ein 20000er Masthähnchenstall kostet als frei gelüfteter Offenstall 260000 € (HM 04 001) und 268000 € in konventioneller Ausführung mit geschlossenen Wänden einschließlich Zu- und Abluftanlage (HM 03 001). Für 40000er Ställe sind zwischen 432000 € (HM 04 003) und 448000 € (HM 03 003) zu investieren.

## 5.2 Putenmast

Ermittelt wurde der Investitionsbedarf für Stallanlagen mit 3700, 5600 und 7400 Mastplätzen. Pro Tierplatz ergibt sich für den 3700er Stall ein Kostenkennwerte von 71 € und für den 7400er Stall ein Investitionsbedarf von 60 €. In Abb. 2 sind die Gesamtkosten nach Kostenblöcken, Kostengruppen und Gebäude-Elementen unterteilt.

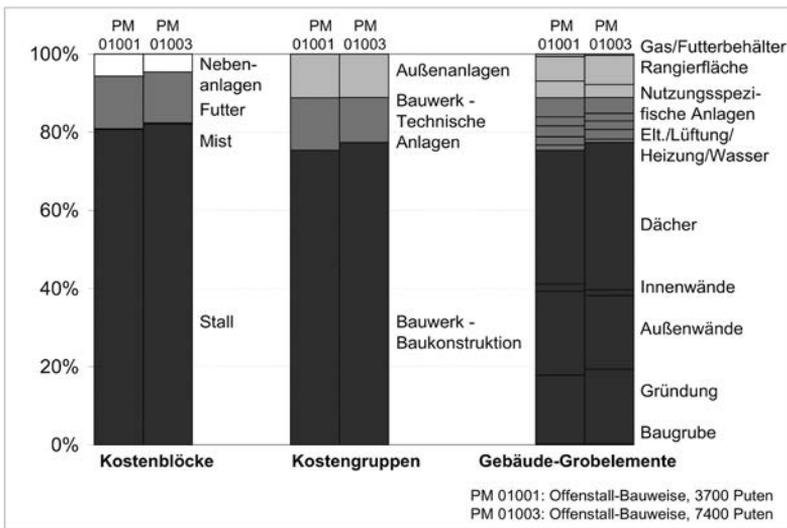


Abb. 2: Anteilige Kosten für Kostenblöcke, Kostengruppen und Elemente für Putenmastställe – prozentuale Anteile

In der linken Säule wird deutlich, dass der Kostenblock Stall beim 3700er Putenstall (PM 01001) mit 80 % den größten Anteil ausmacht. An zweiter Stelle kommt der Kostenblock Futter mit ca. 13 % und schließlich der Kostenblock Nebenanlagen mit etwa 6 %. Bei der größeren Variante PM 01 003 sind es 82 % für den Kostenblock Stall, 13 % für den Kostenblock Futter und 4 % für die Nebenanlagen.

Der Kostenblock Mist fällt bei Putenställen nur mit 1 % der Baukosten ins Gewicht, wenn er sich wie hier, nur auf einen Auffangbehälter für Waschwasser beschränkt. Ein besonderes Mistlager ist bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

75 % der Gesamtkosten entfallen beim Offenstall mit 3700 Tierplätzen (PM 01 001) auf die Kostengruppe 300, Bauwerk-Baukonstruktionen. Die technischen Anlagen, die zur Kostengruppe 400 gehören, verursachen bei dieser Lösung ca. 14 % der anfallenden Gebäudekosten. Der Anteil der Außenanlagen macht 11 % aus, wie aus der entsprechenden Säule in der Grafik hervorgeht. Beim Offenstall mit 7400 Tierplätzen (PM 01 003) entfallen knapp 77 %

der Gesamtkosten auf die Kostengruppe 300, 12 % auf die Kostengruppe 400, und 11 % auf die Kostengruppe 500.

Das rechte Säulenpaar unterteilt die vor genannten Kostengruppen weiter in Grobelemente. Die Differenzen zwischen den dargestellten Varianten sind durch unterschiedlich große Gebäudehüllen begründet. Bei dem kleineren Stall (PM 01 001) macht sich der Anteil der Giebelwände an den Außenwänden prozentual stärker bemerkbar als beim größeren Stall (PM 01003). Dadurch verschieben sich die Anteile für die Dach- und Gründungskosten. Ebenso verhält es sich mit den Technikkosten.

### 5.3 Legehennenhaltung

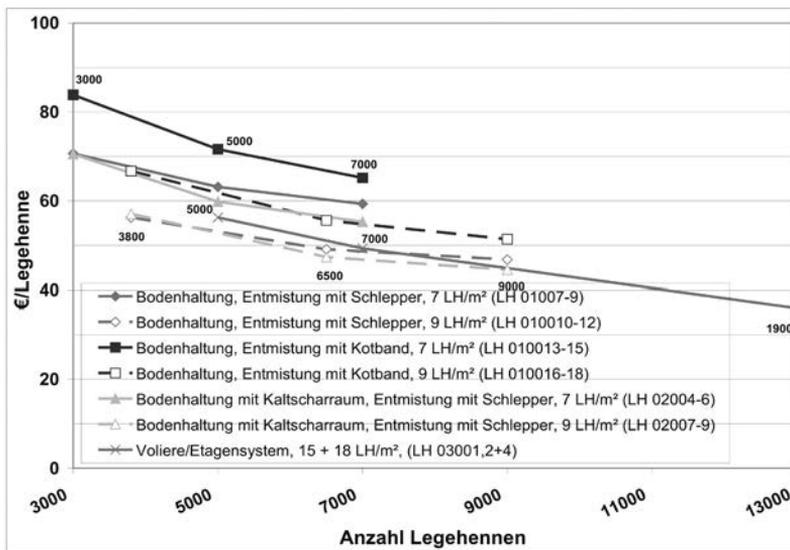


Abb. 3: Investitionsbedarf für Legehennenställe

Das Liniendiagramm (Abb. 3) zeigt den Investitionsbedarf pro Legehennenplatz für alle 7 untersuchten Stallmodelle im Vergleich. Eine Kostendegression von den kleinen Bestandsgrößen hin zu den großen Bestandsgrößen ist bei allen Varianten deutlich erkennbar. Für die Alternativen mit Bodenhaltung und Schlepperentmistung, 7 LH/m² Stallfläche, (LH 01 007-9) wurden Kostenkennwerte zwischen 46,80 € pro Legehennenplatz für den 7000er Stall und 70,60 € pro Legehennenplatz für den 3.000er Stall ermittelt.

Die Alternativen mit Bodenhaltung und Kotbandentmistung, 7 LH/m² Stallfläche, (LH 01 013-15) erfordern die höchsten Investitionen. Hier liegen die Kostenkennwerte für den jeweiligen Legehennenplatz bei 65,10 € für den 7000er Stall und 83,80 € für den 3000er Stall.

Der Investitionsbedarf für die Alternativen mit Bodenhaltung, Kaltscharraum und Schlepperentmistung, 7 LH/m² (LH 02 004-6) wurde mit 55,30 € pro Legehennenplatz für den 7000er Stall bis 70,50 € pro Legehennenplatz für den 3000er Stall ermittelt.

Bei den Alternativen mit Voliere/Etagensystem und Kotbandentmischung ergibt sich ein Investitionsbedarf von 36,00 € pro Mastplatz für den 19000er Stall bei einem Platzangebot von 18 LH/m<sup>2</sup> (LH 03 004) und 56,20 € pro Legehennenplatz für den 5000er Stall und 15 LH/m<sup>2</sup> Stallfläche (LH 03 001).

Die günstigste Art der Bodenhaltung ermöglicht der Stall mit beidseitig in Form von Wintergärten angeschleppten Kaltscharräumen. Durch diese Anordnung wird das Bauwerk zwar breiter, dafür aber wesentlich kürzer. Durch einfachere Bauausführung der Wintergärten gegenüber dem Stall, weil statt fester Wände Maschendraht auf Holzstützen verwendet wird, lassen sich die Investitionsausgaben deutlich verringern.

## 6 Literatur

GARTUNG, J.; UMINSKI, K.; HARTWIG, M. (2003): Investitionsbedarf in der Junggeflügelmast, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Institutsbericht Nr. 379/2003 der FAL.

GARTUNG, J.; UMINSKI, K.; HARTWIG, M.; HOCH, C. (2004): Investitionsbedarf in der Putenmast, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Institutsbericht Nr.382/2004 der FAL.

GARTUNG, J.; UMINSKI, K.; HARTWIG, M.; HOCH, C. (2004): Aktualisierung und Ergänzung der Daten zum Investitionsbedarf für alternative Legehennenställe, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Institutsbericht Nr. 383/2004 der FAL.

KTBL, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt; (2004) Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05. ISBN 3-7843-2178-X.

KTBL, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt; [www.ktbl.de] (2004) Stallbaukosten.

# Wirtschaftliche Baulösungen durch Variantenvergleiche: Der FAT-Preisbaukasten als Hilfsmittel für kostengünstige Betriebsgebäude

## *Comparing alternatives for cost-effective building solutions: FAT Modular Construction Standards for Farm Building Costs as an aid to low-cost farm buildings*

RICHARD HILTY, LUDO VAN CAENEGEM

Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen, Schweiz

**Schlüsselwörter:** Baukosten, Investitionsbedarf, Kostenermittlung, Wirtschaftlichkeit  
**Keywords:** *Building costs, investment needs, costing, economic efficiency*

### **Zusammenfassung**

Landwirtschaftliche Ökonomiegebäude beanspruchen einen beachtlichen Anteil der Strukturkosten eines Produktionszweiges. Um wirtschaftlich zu produzieren sind deshalb preisgünstige Betriebsgebäude Voraussetzung. Durch einen objektiven Vergleich kann, im Hinblick auf Investitionen, Jahreskosten und Funktionalität, die optimale Lösung gefunden werden. Beim Kostenvergleich leistet der FAT-Preisbaukasten wertvolle Dienste.

Der FAT-Preisbaukasten ist eine Elementmethode, welche die üblichen Bauteile und Einrichtungen für landw. Ökonomiegebäude enthält. Die Elemente setzen sich aus einzelnen Arbeiten zusammen die aufgrund von Marktumfragen regelmässig aktualisiert werden. Das neu erstellte PC-Programm mit einer Fülle von Baukostendaten und einer einfachen Bedienung macht den FAT-Preisbaukasten für Planer und Berater zum wertvollen Arbeitsinstrument.

### **Summary**

Farm buildings account for a considerable part of the farm's structural costs. To ensure cost-effective production, low-cost farm buildings are therefore required. Comparing different construction variants on an objective basis can help to find the optimum solution with regard to investment demands, annual costs and functionality. The FAT Modular Construction Standards for Farm Building Costs is a valuable tool for such cost comparison.

The FAT Modular Construction Standards for Farm Building Costs is a method based on elements containing currently used building components and pen fittings for farm buildings. The elements consist of individual construction activities regularly updated on the basis of market surveys. A new, simple to use computer program with a lot of construction cost data makes the FAT Modular Construction Standards for Farm Building Costs a valuable working tool for planners and advisers.

# 1 System des Preisbaukastens

Der FAT-Preisbaukasten ist eine Elementmethode, welche die gebräuchlichsten Bauteile und Einrichtungen für landwirtschaftliche Ökonomiegebäude enthält. Die Gliederung (Abb. 1) in die Kapitel Baukonstruktion, Stalleinrichtungen, sowie allgemeine und spezielle Betriebseinrichtungen erleichtert die Übersicht. Daneben bestehen Kapitel für Erschliessung, Umgebung und Regiarbeiten.

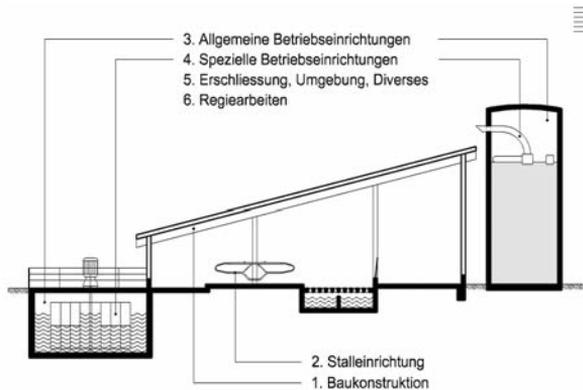


Abb. 1: Die verschiedenen Bauelemente der Ökonomiegebäude sind in 6 Gruppen aufgeteilt. Durch Zusammenstellen der benötigten Elemente erhält man den Investitionsbedarf einer Baulösung  
*The various components of the farm building are divided into 6 groups. The investment requirement for a construction solution can be calculated by putting together the necessary elements*

## Konzept der Kostenberechnung

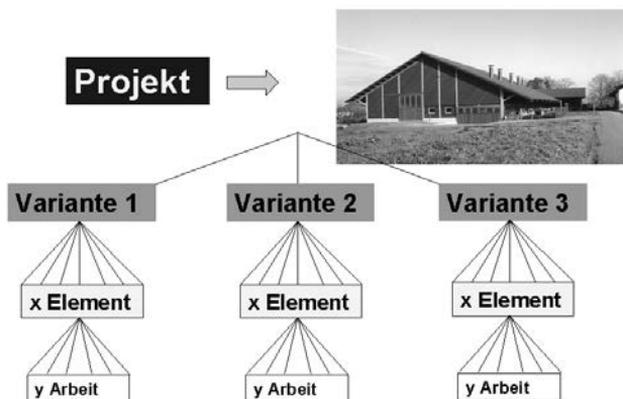


Abb. 2: Durch Zusammenstellen der benötigten Elemente erhält man den Investitionsbedarf einer Baulösung. Die Elemente wiederum basieren auf einer Anzahl von Arbeiten  
*The investment requirement for a construction solution can be calculated by putting together the necessary elements. The elements are based on a number of different construction activities*

Durch das Zusammenstellen, der für ein Projekt benötigten Elemente (Abb. 2) kann der Investitionsbedarf, mit etwas Übung und Erfahrung, rasch ermittelt werden. Neben den Investitionen werden die Jahreskosten und auch die Kosten pro Tiereinheit und pro m<sup>3</sup> Nutzraum berechnet.

Der FAT-Preisbaukasten existiert schon seit etlichen Jahren und wurde nun grundlegend überarbeitet und mit einem neuen, benutzerfreundlichen PC-Programm ergänzt. Damit lassen sich Baukostenberechnungen effizient erstellen und dokumentieren.

## 2 Elementpreise

Die Berechnung der Elemente (Abb. 3) erfolgt aufgrund eines Leistungsverzeichnisses mit den notwendigen Arbeiten. Als Grundlage der Arbeitspreise dienen Offerten von Bauunternehmern und Einrichtern. Diese Preise werden periodisch, d. h. ca. alle 2 bis 3 Jahre der Bauteuerung angepasst. Dabei werden die Konstruktionen der vorhandenen Elemente ebenfalls überprüft, sodass eine Neuauflage jeweils rund 5 bis 10 Prozent neue oder revidierte Elemente enthält. Neben den Arbeits- und Materialkosten enthalten die Elemente einen Zuschlag für Planung und Reserve. Die Jahreskosten der Elemente basieren auf den Faktoren Abschreibung, Reparaturen, Zinsanspruch sowie Gebäudeversicherung.

Element		Preisbaukasten Version 2004		 <b>agroscope</b> FAT TANIKON			
Gliederung	Baukonstruktion						
Unterteilung	Fundament						
Element Nr.	<b>1.0300</b>						
Bezeichnung	<b>Streifenfundament, 50 cm breit mit Sockel bis OK Boden</b>						
Masseinheit	m						
				Letzte Mutation	11.10.2004		
Arbeit Nr.	Bezeichnung	Mass-einh.	Menge	Einh. Preis Fr.	Total Preis Fr.		
10300	Einzel- und Grabenaushub von Hand	m3	0.250	110.00	27.50		
11000	Auffüllen mit Wandkies maschinell	m3	0.045	60.50	2.72		
16100	Magerbetonsohle PC 150 für Fundamente	m3	0.025	232.00	5.80		
16300	Fundamentbeton BN PC 250	m3	0.150	230.00	34.50		
16700	Beton für Sockel und Kanäle BH PC 300	m3	0.090	270.00	24.30		
18700	Schalung für Sockel und Kanäle	m2	0.900	52.00	46.80		
20900	Armierungseisen d 12mm einfach bearbeitet	kg	10.000	2.20	22.00		
Total					163.62		
Planung	9.00%	Reserve	3.00%	<b>Einheits-Preis: 183.26</b>			
<b>Prozentsätze für Jahreskosten</b>							
Abschreibung	2.00%	Zins	1.79%	Reparatur	0.40%	Versicherung	0.10%
<b>Prozentsätze für Eigenleistungen</b>							
Material	50.00%	Geräte	10.00%	Fachpersonal	10.00%	Eigenleistungspotential	30.00%

Abb. 3: Die Berechnung der Elemente erfolgt aufgrund eines Leistungsverzeichnisses. Der Elementpreis ist die Summe einzelner Arbeiten, inklusive Zuschläge für Planung und Reserve entsteht der Elementpreis. *The element is calculated on the basis of a list of individual performances. The element price results from different activities, including allowances for planning and a reserve*

Die PC-Lösung des Preisbaukastens enthält neben statischen auch variable Elemente (Abb. 4). Der Investitionsbedarf eines Dachbinders kann beispielsweise mittels Angaben von Spannweite, Binderabstand und Schneelast ermittelt werden oder die Kosten einer Güllengrube mittels Angaben zu Länge, Breite und Höhe. Aufgrund dieser Parameter werden die entsprechenden Arbeitsmengen und damit der Elementpreis automatisch ermittelt.

Der Anwender hat zudem die Möglichkeit eigene Arbeiten und Arbeitspreise einzugeben und daraus eigene Elemente zu erstellen. Diese werden, zusammen mit seinen Baulösungen bei einem update jeweils übernommen.

Durch Einsetzen mengenabhängiger Materialpreise lässt sich die Kostendegression für grössere Einheiten auffangen.

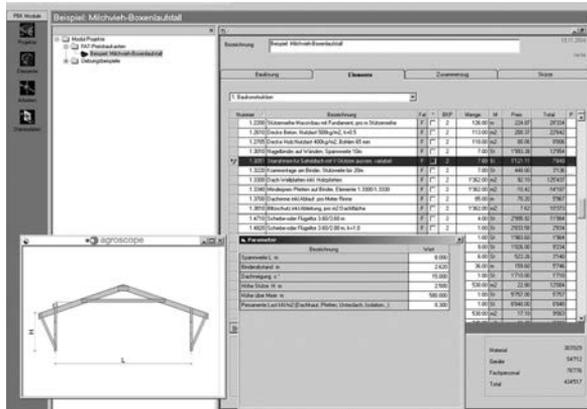
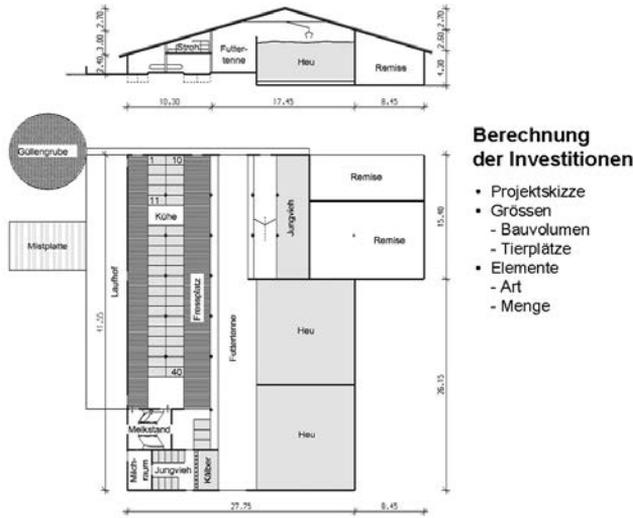


Abb. 4: Bei den variablen Elementen, hier am Beispiel eines Dachbinders, wird durch Eingabe der Parameter Spannweite, Binderabstand, Dachneigung usw. der Preis des Elementes automatisch berechnet  
 For the variable elements, in this case a roof truss, parameters such as span, truss spacing, roof pitch, etc. can be input to calculate the element price automatically

### 3 Berechnung der Bauinvestitionen

Die Kostenberechnung von Baulösungen ist sicher das Hauptanwendungsgebiet des FAT-Preisbaukastens. Da solche Berechnungen mit etwas Übung relativ schnell erstellt sind, werden sie vor allem für Kostenvergleiche verschiedener Projektvarianten eingesetzt.

Aufgrund einer Projektskizze (Abb. 5) werden zuerst die Kenngrößen wie Bauvolumen, Tierplätze oder Gebäudefläche errechnet. Diese Daten ergeben wertvolle Richtwerte zur Überprüfung der Kostenschätzung. Die im PC-Programm enthaltenen Excel-Tabellen (Abb. 6) ermöglichen dabei eine effiziente Berechnung dieser Werte sowie der Lagerkapazitäten für Hofdünger und Raufutter. Anschliessend werden mit Hilfe des pulldown-menus die benötigten Elemente ausgewählt (Abb. 7) und mit den entsprechenden Mengen versehen. Eine Skizze der Elemente unterstützt den Anwender bei der Auswahl der Elemente. Bei variablen Elementen sind zusätzlich die erforderlichen Parameter einzugeben. Die Gesamtkosten der jeweiligen Gruppe werden laufend aktualisiert und angezeigt.



**Berechnung der Investitionen**

- Projektskizze
- Größen
- Bauvolumen
- Tierplätze
- Elemente
- Art
- Menge

Abb. 5: Aufgrund der Projektskizze werden die entsprechenden Grössen wie Bauvolumen und Tierplätze berechnet und Art und Anzahl der Elemente ermittelt  
*The project drawing is used to calculate the relevant sizes such as building volume and livestock units and the type and number of elements is thus determined*

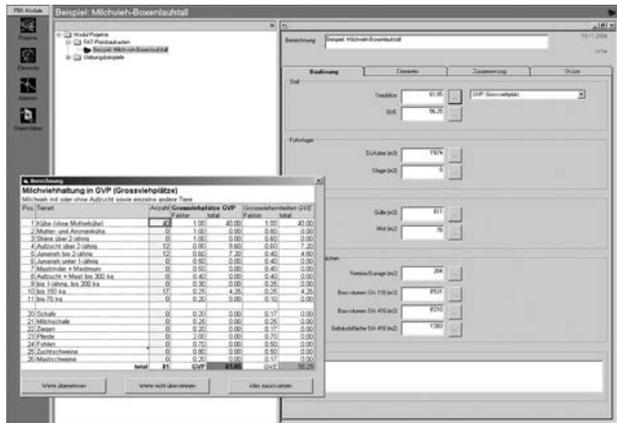


Abb. 6: Bei den allgemeinen Daten einer Baulösung werden auch die Werte für Tierplätze, Lagervolumen, Bauvolumen und Gebäudefläche eingegeben. Hinterlegte Excel-Tabellen sind bei der Berechnung dieser Werte hilfreich  
*The general data for a construction solution include figures for livestock units, storage space and the total area. Linked Excel spreadsheets are a useful aid to calculation*

Der Zusammenzug der Kosten (Abb. 8) zeigt neben den gesamten Investitionen Angaben über Jahreskosten, Tierplatzkosten usw. Mit Hilfe von Korrekturfaktoren ist es möglich die regionalen Unterschiede zumindest teilweise zu berücksichtigen. Mit dem Einfügen einer Bauskizze oder einer Foto der Baulösung kann die Dokumentation vervollständigt werden.

Das PC-Programm verfügt über eine einfache Sprachumstellung, wobei z. Z. Deutsch und Französisch verfügbar sind.

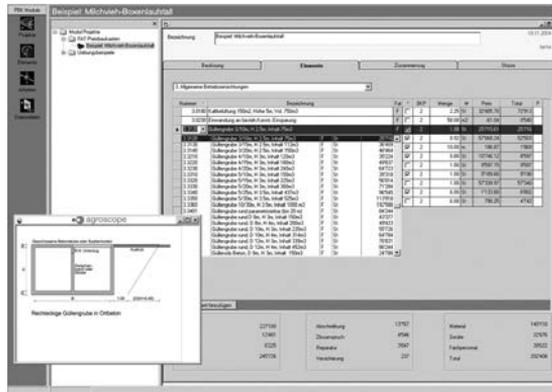


Abb. 7: Beim Zusammenstellen der notwendigen Elemente sind die pull-down-menus mit den vorhandenen Elementen sowie die entsprechenden Skizzen hilfreich  
*The pull-down menus containing the available elements and corresponding drawings is helpful when putting elements together*



Abb. 8: Bei der Zusammenfassung werden neben den Gesamtinvestitionen auch Jahreskosten und Kosten pro Tierplatz oder Bauvolumen berechnet. Der Korrekturfaktor dient dazu die örtlichen Verhältnisse zu berücksichtigen  
*The summary includes a calculation of total investment, annual costs and cost per stall or building volume. An adjustment factor allows local conditions to be taken into account*

Der FAT-Preisbaukasten soll die Berechnung von Bauinvestitionen erleichtern und damit Variantenvergleiche fördern, damit im Endeffekt funktionale und möglichst kostengünstige Bauten erstellt werden. Daneben dient er als Nachschlagwerk für Preise landw. Bauten und Einrichtungen.

#### 4 Literatur

HILTY, R.; VAN CAENEGEM, L.; HERZOG, D.; Januar 2005. Baukostensammlung für landwirtschaftliche Betriebsgebäude.

## Standort- und Genehmigungsmanagement bei der Errichtung von Tierproduktionsanlagen – Erfahrungen aus der Praxis

### *Location management and authorization management in the process of building animal production facilities*

THOMAS PITSCHMANN

Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern, Lindenallee 2 a, D-19067 Leezen

**Schlüsselwörter:** Wirtschaftliche Aspekte, Investitionen, Standortanalyse, Kommunen, Genehmigungsbehörden, Genehmigungsverfahren

**Keywords:** *Economic aspects, investments, location analysis, municipalities, approving authorities, authorization process*

### **Zusammenfassung**

*In der Landwirtschaft und insbesondere in der Tierhaltung haben sich in Ostdeutschland seit 1990 grundlegende Strukturveränderungen vollzogen. Die Neugründung bzw. Umstrukturierung landwirtschaftlicher Unternehmen war u. a. mit einem deutlichen Rückgang der Beschäftigungszahlen und einer zum Teil drastischen Reduzierung der Tierbestände verbunden. Dadurch ging ein erhebliches Wertschöpfungspotenzial für die Landwirtschaft und die ländlichen Regionen verloren. Um dieser Entwicklung entgegenzusteuern, wurden in den neuen Bundesländern verschiedene Initiativen entwickelt. So wurde in Mecklenburg-Vorpommern das „Aktionsprogramm zum Aufbau und zur Stabilisierung der Schweineproduktion“ aufgelegt. Die Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern mbH hat bis heute umfangreiche Erfahrungen bei der Standortanalyse und in Genehmigungsverfahren von Schweineproduktionsanlagen die nach dem BImSchG und dem UVPG genehmigungspflichtig sind, gesammelt.*

### **Summary**

*The 1990's saw fundamental structural changes in agriculture and especially in animal production in East Germany. Companies in the agrarian sector have been newly established and restructured, resulting among other things in a significant decrease of employment and a partly drastic reduction of live-stock. As a consequence, added value in agriculture and rural areas has got lost. In order to counteract this development, various initiatives were established in the New Länder in this period. An example is the "Action Programme for Establishing and Stabilising Pig Production" in Mecklenburg-Vorpommern. In the course of its implementation, Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern mbH (Rural association Mecklenburg-Vorpommern mbH) has gained valuable experiences in location analyses and authorization procedures for pig production facilities, which require a licence according to German legislation (Federal Immission Control Act [BImSchG], Environmental Impact Assessment Act [UVPG]).*

## 1 Ausgangssituation

Die Einkommenssituation vieler Landwirtschaftsbetriebe in Deutschland hat sich in den letzten Jahren teilweise deutlich verschlechtert. So ist sowohl bei einigen Feldfrüchten als auch bei tierischen Produkten wie Milch und Schweinefleisch ein drastischer Preisverfall bei gleichzeitig ständig steigenden Produktionskosten zu verzeichnen. Immer höhere Anforderungen an die Tier- und Umweltschutzstandards führen zu einer Verteuerung der Investitionen und teilweise erheblichen internationalen Wettbewerbsnachteilen für deutsche Landwirte. Durch veränderte Rahmenbedingungen im Zuge der Änderung der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union, sind insbesondere in der Veredelungswirtschaft auch künftig steigende Einkommen eher nicht zu erwarten. Die Folge ist ein immer geringeres Wertschöpfungspotenzial in den ländlichen Regionen. Zahlreiche Veredlungsbetriebe stehen heute vor der Wahl, entweder die Produktion einzustellen oder durch Expandieren die „Flucht nach vorn“ anzutreten. Dieses dürfte jedoch nur dann Sinn machen, wenn schon bisher die Produktion wirtschaftlich erfolgreich betrieben werden konnte. Die genannte Entwicklungstendenz wird zwangsläufig einen weiteren Strukturwandel hin zu größeren Wirtschaftseinheiten mit sich bringen.

### 1.1 Zu berücksichtigende Rahmenbedingungen für geplante Investitionen

Bei Investitionsentscheidungen für die Tierhaltung sind heute wesentlich mehr Faktoren als noch vor Jahren zu berücksichtigen. Mit der Investition sollten die Grundlagen für eine einerseits moderne und effektive andererseits tier- und umweltgerechte und im Sinne des Verbraucherschutzes transparente Produktion geschaffen werden. Die sichere Einhaltung sowohl bestehender als auch zu erwartender rechtlicher Rahmenbedingungen muss in jedem Falle gewährleistet sein. Auch die Anforderungen von Banken an die Landwirtschaftsbetriebe bei der Finanzierung von Investitionen sind in den letzten Jahren z. T. erheblich angestiegen. So wird nicht selten ein Eigenkapitalanteil von 30 % und mehr gefordert. Für Betriebe in den neuen Bundesländern stellt häufig die momentane Ausschöpfung der Kapitaldienstgrenze aufgrund bereits bestehender Finanzierungen im Rahmen von Betriebsgründungen oder durch den Ankauf von Flächen, die andernfalls den Betrieben mittelfristig nicht mehr zur Verfügung stünden, ein großes Hindernis für Investitionen dar. Weil andererseits der Flächenbindung der Tierhaltung eine immer größere Bedeutung zukommt, ist die Flächenausstattung häufig die limitierende Größe für die Erweiterung der Tierproduktion. Darüber hinaus sind ein maximaler Besatz von zwei GV je ha LN ebenso wie gegebenenfalls zu erwerbende Lieferrechte eine wichtige Voraussetzung für die Inanspruchnahme staatlicher Förderung für landwirtschaftliche Investitionen.

### 1.2 Entscheidung für Neubau oder Umbau

Erweiterungen oder Modernisierungen vorhandener Anlagen sind aufgrund bestehender Gegebenheiten, wie z. B. die Struktur und Anordnung der Bausubstanz, die Nähe zu vorhandener Wohnbebauung oder durch B-Plan-Vorgaben oftmals nicht möglich bzw. zu kostenintensiv.

Ein Neubau wird somit häufig vorteilhafter als ein meist doch mit Kompromissen realisierter Umbau sein. Hier ist eine genaue Analyse des Ist-Zustandes erforderlich, um einer Investitionsidee bestmögliche Chancen zur Umsetzung zu geben.

### 1.3 Aktionsprogramm in Mecklenburg-Vorpommern

Hintergrund für die umfangreichen Erfahrungen der Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern mbH beim Standort- und Genehmigungsmanagement für Tierhaltungsanlagen, bildet ein bereits Ende der 90er Jahre von der Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern initiiertes Aktionsprogramm zum Aufbau und zur Stabilisierung der Schweinebestände.

In den ostdeutschen Bundesländern haben sich seit 1990, gerade in der Landwirtschaft, erhebliche Strukturveränderungen vollzogen, die neben einem deutlichen Rückgang der Beschäftigtenzahlen auch zu einer drastischen Reduzierung der Tierbestände führten. So liegt beispielsweise der Selbstversorgungsgrad mit Schweinefleisch in Mecklenburg-Vorpommern bei nur ca. 70 %. Den Strukturveränderungen stehen jedoch Standortvorteile gegenüber, die sich in einer sehr geringen Besiedlungsdichte von nur 75 EW/km<sup>2</sup>, in einer überwiegend gut ausgebauten Infrastruktur, in einem sehr geringen Schweinebestand von nur Ø 0,5 Tieren je ha LN, in modernen Schlacht- und Verarbeitungskapazitäten, in vielen Regionen mit für die Gülleausbringung hervorragend geeigneten Flächen und in gut ausgebildetem, motiviertem Fachpersonal widerspiegeln.

### 1.4 Projektsteuerung durch die Landgesellschaft M-V mbH

Um von vornherein aussichtslose Genehmigungsverfahren möglichst auszuschließen, sollte bereits vor der Antragstellung eine Untersuchung des vorgesehenen Standortes auf seine grundsätzliche Eignung vorgenommen werden. Um Investoren bei der Planung und Realisierung ihrer Vorhaben zu unterstützen, werden durch die Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern mbH eine Vielzahl von Leistungen übernommen. Dazu gehören bei Bedarf neben der Suche eines geeigneten Standortes, die Ermittlung der Flurstücke und Grundeigentümer, die Führung von Kaufverhandlungen, die Gestaltung von Gülleabnahmeverträgen, die Erstellung und Begleitung der Planungsanzeige beim Amt für Raumordnung und Landesplanung, die Erstellung und Begleitung des Unterrichtungsschreibens an das Staatliche Amt für Umwelt und Natur, die Wahrnehmung des Scoping-Termins, die Beschaffung und Erarbeitung der für das immissionsschutzrechtliche Verfahren erforderlichen Unterlagen, die Erstellung der Umweltverträglichkeitsuntersuchungsunterlagen und die Vertretung des Bauherrn im gesamten Genehmigungsverfahren.

Für spezielle Teilleistungen können im Bedarfsfall externe Fachplanungsbüros beauftragt werden.

Über die genannten Leitungen hinaus bietet die Landgesellschaft den Investoren im Rahmen eines separaten Ingenieurvertrages die Erstellung der kompletten Bauunterlagen sowie die Baubetreuung an.

## 2 Anforderungen an einen Neubaustandort

Der Mindestabstand zur Wohnbebauung nach der TA-Luft bzw. den geltenden VDI-Richtlinien sowie ausreichende Entfernungen zu Schutzgebieten aller Art, sind zu prüfen. Sind größere Abstände als die gesetzlich geforderten zu realisieren, sind diese zur Konfliktreduzierung bzw. für evtl. spätere Erweiterungen zu bevorzugen. Die raumordnerischen Vorgaben und Entwicklungstendenzen, wie geplante Besiedlungsstrukturen und B- oder F-Pläne, Schienen-, Straßen- oder Wegebau, Rohstoffabbau und Tourismusgebiete sind unbedingt zu prüfen. Ziel dabei muss es sein, Interessenkonflikte weitgehend auszuschließen und kosten- und zeitintensive Raumordnungsverfahren zu umgehen. Weiterhin gebührt der zur Bebauung vorgesehenen Fläche große Aufmerksamkeit. Befindet sich die Fläche im Eigentum des Bauherren oder kann sie käuflich erworben werden? Ist der Baugrund für die Art der Bebauung geeignet? Gegebenenfalls ist vorab eine Baugrunduntersuchung vorzunehmen. Die Verfügbarkeit und Eignung der für die Gülleausbringung vorgesehenen Flächen ist zu untersuchen. Dabei sind die Versorgungsstufen und die Anbaustrukturen der Flächen sowie die Vorgaben der Düngeverordnung zu beachten. Eventuell ist der Abschluss von Gülleabnahmeverträgen mit Nachbarbetrieben erforderlich.

Abschließend sind auch die Fragen der Erschließung des Standortes zu erörtern. So sollte die Bebauungsfläche möglichst an ausreichend dimensionierten Straßen liegen, die für Transporte von ca. 40 t Gesamtgewicht ausgelegt sind. Fahrten durch Wohngebiete sollten vor allem bei der Gülleausbringung minimiert werden. Brauchwasser kann, wenn die Voraussetzungen dafür gegeben sind, an vielen Standorten über eine eigene Brunnenanlage bezogen werden. Zur Stromversorgung sollte in Anlagennähe eine dem künftigen Anschlusswert entsprechende Anschlussmöglichkeit vorhanden sein.

## 3 Berücksichtigung der Interessen von betroffenen Anwohnern und Verbänden, Zusammenarbeit mit Kommunen und Genehmigungsbehörden

Die Nutztierhaltung war von jeher eine wichtige Einnahmequelle der Landwirtschaft. Durch sie kann noch immer eine Vielzahl von Arbeitsplätzen nicht nur in der landwirtschaftlichen Primärproduktion sondern auch in vor- und nachgelagerten Bereichen gesichert bzw. neu geschaffen werden.

Trotzdem ist eine zunehmend kritische Einstellung der Bevölkerung und von Umwelt- und Tierschutzverbänden zur Landwirtschaft und insbesondere zur Tierhaltung zu verzeichnen.

Dabei ist nicht selten zu beobachten, dass man oft dann keine Probleme mit der Tierhaltung hat, wenn sie nicht vor der eigenen Haustür stattfindet.

Bedenken werden sowohl in – wie man in Unkenntnis der tatsächlichen Gegebenheiten meint – „tierquälerischer Massentierhaltung“ als auch in der Gülleausbringung gesehen.

In Regionen mit starker Veredlungsdichte ist dabei häufig eine deutlich größere Akzeptanz gegeben, da dort in der Regel sehr viele Menschen unmittelbar mit der Veredlungswirtschaft zu tun haben und auch seit Jahren mit deren Rahmenbedingungen vertraut sind. In veredlungsschwachen Regionen hingegen sind die Vorbehalte meist deutlich größer.

### 3.1 Erfahrungen in Mecklenburg-Vorpommern

In Mecklenburg-Vorpommern hat es in den vergangenen Jahren zahlreiche Erfahrungen mit der Öffentlichkeit im Zusammenhang mit der Errichtung von Schweineproduktionsanlagen gegeben. Statt einer von vielen Investoren angestrebten sachlichen Diskussion zum geplanten Vorhaben, waren häufig Unverständnis, Ablehnung und lautstarke Empörung das Ergebnis. Teilweise wurden sogar positiv zum Vorhaben eingestellte Gemeindevertreter persönlich bedroht. Betrieben, die ihre Bereitschaft zur Abnahme von Gülle erklärt hatten, wurde die Kündigung von Pachtverträgen in Aussicht gestellt. In der Regel bildeten sich sehr schnell Bürgerinitiativen die oft mit unsachlichen, nicht haltbaren Vorwürfen und Unterstellungen massiv Stimmung gegen die Projekte machten. Die Bürgerinitiativen wurden häufig von Umwelt- und Tierschutzverbänden unterstützt. Die Bevölkerung in den betroffenen Regionen wurde zum Teil mit gezielten Fehlinformationen verunsichert und sogar Mitarbeiter von Genehmigungsbehörden persönlich mit Anzeigen wegen Beihilfe zur Tierquälerei bedroht. Auch Medien beschäftigten sich häufig sehr ausführlich mit der Problematik und stellten Zusammenhänge einseitig aus der Sicht der Gegner der Tierhaltung dar.

Nach unseren Erfahrungen spielt die Größe der vorgesehenen Anlagen dabei keine entscheidende Rolle. Bürgerinitiativen hat es sowohl gegen Vorhaben mit 10.000 als auch gegen die Errichtung von nur 1.000 Mastplätzen gegeben.

Diese öffentliche, oft mehr emotional als sachlich geführte Diskussion hatte teilweise auch Auswirkungen auf die Entscheidungsfreude von Behördenvertretern und führte mitunter zu deren Verunsicherung und in Einzelfällen sogar zu überzogenen Anforderungen an die Antragsunterlagen.

### 3.2 Empfehlungen für Investoren

Mit den benannten Konflikten ist ein Landwirt allein in aller Regel überfordert. Er sollte rechtzeitig kompetente Dienstleister mit der Erstellung der Antragsunterlagen und der Vertretung im Genehmigungsverfahren beauftragen.

In immer mehr Fällen macht sich selbst die Einschaltung eines Rechtsanwaltes erforderlich, um den „Anlagengegnern“ die ebenfalls fachkundigen Rechtsbeistand in Anspruch nehmen, auch auf juristischer Ebene begegnen zu können.

Es kann nur dringend empfohlen werden, dass investitionswillige Landwirte so früh wie möglich den Kontakt zu Kommunen und Einwohnern suchen und offen über das geplante Vorhaben sowie die damit verbundenen Auswirkungen informieren.

Ebenso sind Vorgespräche mit entscheidungsrelevanten Behörden und dem Berufsstand zu empfehlen.

„Verdecktes“ Vorgehen weckt nach unseren Erfahrungen Misstrauen und verstärkt die Probleme, die man im Laufe des Genehmigungsverfahrens mit den Gegnern des Projektes ohnehin bekommt, nur unnötig.

Trotz allen Ärgers sowie der Zeitverzögerungen und Kosten, die mit Einwendungen und daraus resultierenden Nachforderungen verbunden sind, muss versucht werden, gegen das Vorhaben gerichtete Bedenken auf sachlicher Ebene zu klären, bzw. sie dorthin zurückzulagern. Je gründlicher und umfassender ein Antrag im Vorfeld vorbereitet wird, desto größer ist die Chance, zeitnah eine rechtssichere Genehmigung in den Händen zu halten. Antrags-

unterlagen, die aus falsch orientiertem Kostenbewusstsein gezielt „knapp“ gehalten werden, ziehen in aller Regel ein kostenintensives Genehmigungsverfahren nach sich. Antragsteller sollten offensiv, strategisch und transparent vorgehen, um in die Rolle des Agierenden statt in die des auf Behauptungen und Unterstellungen Reagierenden zu gelangen. Gemeinden sollten in die Planung für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen einbezogen werden. Nach Inkrafttreten der Novellierung des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien bestehen sehr gute Voraussetzungen, auch eine Biogasanlage in die Planungen einzubeziehen, was wegen der dadurch möglichen Reduzierung der Geruchsbelastung deutlich zur Akzeptanzsteigerung in der Bevölkerung beitragen und nach den neuen Bedingungen als zusätzliche Einnahmequelle angesehen werden kann. Sicherheitsabstände sollten, wenn möglich, größer gewählt werden als es die gesetzlichen Vorschriften zulassen würden. Die Gülleausbringung sollte nach dem Stand der Technik erfolgen. Betriebe die ihre Produktion erweitern möchten, sollten schon im aktuellen Betriebsablauf positive Akzente setzen. Dazu gehört beispielsweise der Verzicht auf die Gülleausbringung an Sonn- und Feiertagen, der Einsatz moderner Ausbringtonik unter Beachtung der Windrichtung, die Beseitigung von Straßenverschmutzungen, Sauberkeit und Ordnung auf dem Betriebsgelände u. ä. „Tage des offenen Hofes“, zu denen gezielt Einwohner der betroffenen Regionen eingeladen und offen über die ohnehin gesetzlich vorgeschriebenen aber in der Öffentlichkeit kaum bekannten artgerechten Haltungsbedingungen der Tiere und die geplanten Investitionen informiert werden sollten, haben sich häufig als vertrauensbildend erwiesen.

#### 4 Fazit

Investitionen in die Viehhaltung und damit eine Verbesserung der Wertschöpfung sind nach wie vor ein wichtiges Element zur Entwicklung ländlicher Regionen. In der Bevölkerung ist jedoch zunächst nur selten Akzeptanz für die Errichtung von Tierproduktionsanlagen vorhanden. Dabei spielt nach den Erfahrungen der Landgesellschaft M-V mbH die Größe der Anlage nur eine untergeordnete Rolle. Die fehlende Akzeptanz, verbunden mit oft mehr emotional als sachkundig geführter Kritik in der Öffentlichkeit, verunsichert Behörden aber auch Antragsteller. Ständig verschärfte Genehmigungsbedingungen führen zu immer zeitaufwendigeren und damit kostenintensiveren Verfahren. Antragsteller sollten daher rechtzeitig erfahrene, kompetente Dienstleister mit der Begleitung des Genehmigungsverfahrens beauftragen und von Anfang an den engen Kontakt zu betreffenden Kommunen und Einwohnern suchen. Transparentes und vertrauensbildendes Agieren ist dabei oberstes Gebot.

## Nationaler Bewertungsrahmen zur Beschreibung des Standes der Technik bei Tierhaltungsverfahren – Aspekt Umweltwirkungen *National Assessment for Animal Husbandry – Part environmental protection*

WERNER ACHILLES, BRIGITTE EURICH-MENDEN, WILFRIED HARTMANN

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Bartningstr. 49, D-64289 Darmstadt

**Schlüsselwörter:** Nationaler Bewertungsrahmen, Umweltwirkungen, Emissionen, Tierhaltungsverfahren, Rind, Schwein, Geflügel, Pferd

**Keywords:** *National assessment, environmental protection, emission, livestock farming, cattle, pig, poultry, horse*

### Zusammenfassung

Gemeinsam mit dem Institut für Tierschutz und Tierhaltung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Celle erarbeitet das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) den „Nationalen Bewertungsrahmen zur Beschreibung des Standes der Technik bei Tierhaltungsverfahren“.

Ziel des vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und vom Umweltbundesamt (UBA) geförderten Projektes ist die systematische und umfassende Beschreibung des Standes der Technik von Haltungsverfahren der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (Schwein, Rind, Pferd, Legehennen, Jungmasthuhn, Pute und Pekingente). Aufbauend auf diese Beschreibung wird ein Bewertungsrahmen entwickelt, in dem die Auswirkungen der Haltungsverfahren auf Umwelt und Tiergerechtigkeit unter Berücksichtigung ökonomischer Aspekte gleichrangig beurteilt werden.

Das gesamte Projekt wird in enger Abstimmung mit zwei Arbeitsgruppen zu den Aspekten „Umwelt und Verfahrenstechnik“ und „Tiergerechtigkeit“ (s. Beitrag SCHÄFFER et al.) durchgeführt. Diese Arbeitsgruppen setzen sich aus Experten der Forschung, Beratung, Verbände und Politik zusammen, um einen breiten Konsens unter den betroffenen Fachkreisen zu erreichen.

### Summary

In Cooperation with the Institute for Animal Welfare and Animal Husbandry from the Federal Agricultural Research Centre (FAL) the Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL) is working at the „National Assessment for Animal Husbandry“.

Aim of the project: the systematically and comprehensively description from the state-of-the-art of livestock farming (pig, cattle, horse, and poultry). The project is supported by the Department of the Environment and the Federal Ministry of Consumer Protection, Food and Agriculture.

## 1 Zielsetzung

Im Nationalen Bewertungsrahmen werden nach gegenwärtigem Stand des Wissens die Auswirkungen der Haltungsverfahren auf Umweltverträglichkeit und Tiergerechtigkeit dokumentiert und beurteilt.

Damit werden Grundlagen zur Planung und Genehmigung von Tierhaltungsanlagen erweitert, die Tierhaltung für die Verbraucher transparenter dargestellt und eine Datengrundlage zur Ausarbeitung von Förderprogrammen für eine tiergerechte und umweltverträgliche Nutztierhaltung geschaffen.

Ein weiteres Ziel des Vorhabens ist es, Kenntnislücken über die Auswirkungen der Technik auf Umwelt und Tiere zu identifizieren und den Forschungsbedarf abzuleiten.

## 2 Bestandsaufnahme

Im Rahmen der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) wurden die Besten Verfügbaren Techniken (BVT) in der intensiven Schweine- und Geflügelhaltung vor allem im Hinblick auf die Umweltwirkungen (insb. Ammoniakemissionen) und Kosten in einem BVT-Merkblatt (Best Available Techniques Reference Document – BREF) europaweit einheitlich beschrieben. Die Beschreibung umfasst nur solche Verfahren, die in Tierhaltungsanlagen mit mindestens 40.000 Plätzen für Geflügel, 2.000 Plätzen für Mastschweine oder 750 Plätzen für Sauen eingesetzt werden. Die BREF geben den zuständigen Behörden, Planern und der Öffentlichkeit Informationen zum Stand der Technik in der Intensivtierhaltung und dienen als Grundlage für Entscheidungen über die Genehmigung von Tierhaltungsanlagen. Gemäß der IVU-Richtlinie sollen sie zukünftig in einem dreijährigen Rhythmus überprüft und an die fortschreitende Entwicklung der Haltungsverfahren angepasst werden.

Eine vergleichbare Arbeit fehlt sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene für den Bereich der Rinderhaltung, obwohl 60–70 % der Ammoniakbelastung aus diesem Produktionszweig der Landwirtschaft stammt und größere Rinderhaltungen bzw. solche mit ungenügender Flächenausstattung in Deutschland ebenso strengen Anforderungen nach dem Immissionsschutzrecht unterliegen wie Anlagen der intensiven Schweine- und Geflügelhaltung.

Aus der Beschreibung der BVT sind zudem alle Haltungsverfahren für Schweine und Geflügel ausgenommen, die nicht den in den IVU-Richtlinien festgelegten Bestandesgrößen entsprechen und bei den untersuchten Bestandesgrößen wirtschaftlich und technisch für nicht vertretbar bewertet wurden.

Darüber hinaus werden Aspekte der Tiergerechtigkeit bei der Festlegung der BVT nicht gleichrangig mit den Aspekten des Umweltschutzes betrachtet.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Haltungsverfahren nach den zum Bearbeitungszeitpunkt geltenden Rechtsgrundlagen auf EU-Ebene beurteilt wurden und noch nicht die aktuellen nationalen Rechtsvorschriften berücksichtigen.

Über den BREF hinaus ist der Stand der Technik in der Tierhaltung z. Z. noch in Abhängigkeit von den Zielgrößen Umweltverträglichkeit und Tiergerechtigkeit unterschiedlich und nicht vollständig für alle Verfahrensvarianten beschrieben. Beispielsweise beschränkt sich die im Entwurf vorliegende VDI-Richtlinie „Emissionsminderung Tierhaltung“ VDI 3474 auf

das Vermeiden und Vermindern von Geruchsemissionen. Dagegen stellen eine Reihe von Arbeitsblättern, z. B. ALB, KTBL, vorwiegend den bautechnischen Standard dar, ohne Leistungsdaten hinsichtlich der Umwelt anzugeben.

Um Haltungsverfahren hinsichtlich der Auswirkungen auf Umwelt und Tiere miteinander vergleichen zu können, müssen die hierfür grundlegenden und entscheidenden Merkmale der Haltungsverfahren auf einer vergleichbaren Basis erhoben und beschrieben werden.

Der wissenschaftliche Kenntnisstand über die Auswirkungen der Technik in der Tierhaltung auf Umwelt, Tiere, Energie und Kosten muss jedoch insgesamt in verschiedenen Aspekten als unzureichend angesehen werden. Dies ist kritisch zu beurteilen, da sich die Bewertung der Technik in der Tierhaltung auf wissenschaftliche Erkenntnisse abstützen hat.

Um eine Tierhaltungsanlage möglichst emissionsarm zu betreiben, ist eine Betriebsführung Voraussetzung, die sich an bestimmten Mindestanforderungen (sog. „Gute fachliche Praxis“) orientiert, z. B. bei Festmistverfahren regelmäßiges und ausreichendes Einstreuen mit Einstreu „guter“ Qualität und regelmäßiges Entmisten. Die Praxis zeigt beispielsweise, dass häufig Managementfehler die Ursache von Geruchsbelästigungen und von hohen Schadstoffeinträgen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen sind. In diesen Fällen können selbst als emissionsarm eingestufte Haltungsverfahren hohe Emissionen verursachen. Solche Aspekte der „Guten fachlichen Praxis“ insbesondere der Innenwirtschaft sind bisher nur teilweise und in Bezug auf Ammoniak und Geruch beschrieben worden.

### 3 Notwendigkeit des Vorhabens

Der nationale Bewertungsrahmen soll für die Rinderhaltung eine wichtige Grundlage für den Vollzug insbesondere im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren bilden. Denn Rinderhaltungen mit mehr als 250 Rindern bzw. 300 Kälbern oder einem Bestand von größer 50 GV (etwa 42 Rinder bzw. 167 Kälber), wenn der Besatz mehr als 2 GV pro ha LN beträgt, sind nach dem BImSchG genehmigungsbedürftig. Für diesen Zweck sind Anforderungen an den Bau und Betrieb nach dem Stand der Technik bzw. der Besten Verfügbaren Technik festzulegen und Datengrundlagen zur Beurteilung der Umweltwirkungen notwendig.

Dem gleichen Zweck dient der nationale Bewertungsrahmen im Rahmen der Vorprüfung zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bzw. für die UVP selbst, die zukünftig auch für Rinderhaltungen durchzuführen sind.

Neben der Rinderhaltung sollen in dem zu erstellenden Bewertungsrahmen auch Verfahren der Schweine-, Geflügel- und Pferdehaltung behandelt werden, die im Rahmen der IVU-Richtlinie nicht berücksichtigt werden, aber in Deutschland ebenso strengen immissionsschutzrechtlichen Anforderungen bzw. der UVP-Pflicht unterliegen und für die anderweitige Bewertungsgrundlagen für den Vollzug fehlen. Das gilt insbesondere für Verfahren der extensiven (inkl. ökologischen) Tierhaltung bzw. Verfahren, die häufiger bei kleineren Tierbeständen Anwendung finden und Verfahren, die insbesondere den Anforderungen der Anlage 2 des Agrarinvestitionsförderungsprogramms (AFP) entsprechen.

Notwendig ist die Erstellung eines nationalen Bewertungsrahmens für Techniken in der Tierhaltung zudem, um die Zielgrößen „Tiergerechtigkeit“ gleichberechtigt neben der „Umweltverträglichkeit“ zu berücksichtigen. Der nationale Bewertungsrahmen kann nicht zuletzt auch deshalb als Datengrundlage zur Ausarbeitung von Förderprogrammen für die tiergerechte und umweltverträgliche Nutztierhaltung herangezogen werden. Durch die gleichberechtigte

Beschreibung der Umweltschutz- und Tiergerechtheitskriterien können die Techniken identifiziert und ggf. weiter entwickelt werden, die eine große Schnittmenge zwischen den beiden Zielgrößen beinhalten.

#### 4 Aufgabenstellung und Lösungsweg

Zur Erfüllung des Auftrages muss eine Analyse der bisherigen Praxis der Haltung insbesondere von Rindern und der neuen Erkenntnisse aus wissenschaftlichen Arbeiten erfolgen. Insbesondere die Kenntnisse aus Praxisbetrieben von infrage kommenden Anlagen sind bisher unzureichend dokumentiert. Aus dem zusammengestellten Datenangebot sind Methoden und Kriterien zur Bewertung der Verfahren zu entwickeln und daraus Vorschläge für einen Bewertungsrahmen abzuleiten.

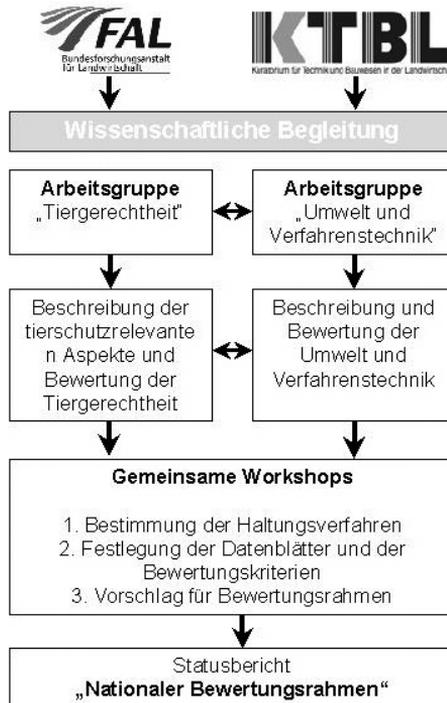


Abb. 1: Der „Nationale Bewertungsrahmen“ auf einen Blick

Damit die Ergebnisse einen hohen Konsens in den betroffenen Fachkreisen finden und auf einer möglichst breiten fachlichen Basis abgestimmt sind, werden die Arbeitsschritte von zwei Arbeitsgruppen begleitet (Abb. 1) Die Arbeitsgruppen wurden mit Beginn des Vorhabens gegründet. Bei der Besetzung der Arbeitsgruppe „Umwelt- und Verfahrenstechnik“ war das KTBL federführend, bei der Besetzung der Arbeitsgruppe „Tiergerechtigkeit“ das Institut für Tierschutz und Tierhaltung der FAL. Die Arbeitsgruppen wurden mit erfahrenen Fachleuten

Deutschlands aus den Bereichen Wissenschaft, Beratung, Verbände, Praxis und Industrie zusammengesetzt.

## 5 Arbeitsschritte und erwartete Ergebnisse

Das Projekt gliedert sich in zehn Arbeitsschritte, die die nach derzeitigem Wissensstand mögliche Dokumentation und Bewertung der gängigen Haltungsverfahren abgesichert und nachvollziehbar gewährleisten sollen:

- Sammlung statistischer Daten zur Tierhaltung
- Datenerhebung zu Haltungsverfahren
- Festlegung und Definition der zu beschreibenden Haltungsverfahren
- Literatur: Sammlung, Auswertung
- Analyse des Wissensstandes zur Ableitung von Emissionsfaktoren
- Festlegung des für die Beschreibung und Bewertung praktikablen Datenrasters
- Ableitung der Grundregeln zum Betreiben von Tierhaltungsverfahren
- Entwicklung einer Methode zur Beurteilung der Verfahren und Festlegung des Bewertungsrahmens
- Beurteilung des Kosten-Nutzen-Verhältnis (Umwelt – Tiergerechtigkeit – Ökonomie)
- Ausarbeitung von Vorschlägen für Bewertungsrahmen

## 6 Bewertungskriterien „Umweltverträglichkeit“

Zur Bewertung der Zielgröße „Umweltverträglichkeit“ werden im nationalen Bewertungsrahmen die drei Kriterien „Emissionen (Luft)“, „Einträge in Boden“ und „Verbräuche“ herangezogen. Die konkrete Bewertung erfolgt an ausgewiesenen Indikatoren (Abb. 2) auf verschiedenen Bewertungsebenen.

Zielgröße	Umweltverträglichkeit		
Kriterien	Emissionen (Luft)	Einträge in Boden	Verbräuche
Indikatoren	Ammoniak Geruchsstoffe Staub Lachgas Methan	N P	Energie im Stall Wasser Fläche

Abb. 2: Kriterien und ihre Indikatoren zur Bewertung der Zielgröße „Umweltverträglichkeit“

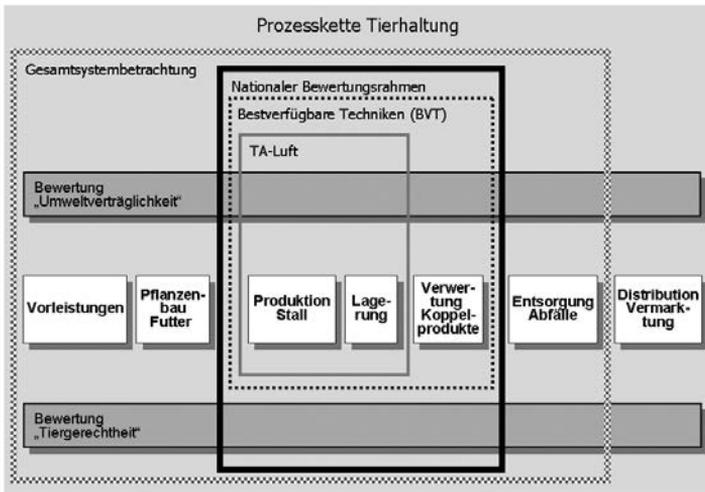
## 7 Grenzen der Bewertung

Der nationale Bewertungsrahmen beschränkt sich hinsichtlich der Bewertung der Umweltwirkungen bewusst auf Tierhaltungsanlagen, d. h. den Stall und die dazugehörigen Einrichtungen zum Lagern von z. B. Einstreu und Festmist. Damit liefert er wichtige Aspekte zur

Bewertung der Umweltbelastung insgesamt. Er kann aber in keinem Fall die erstrebenswerte Bewertung des Gesamtsystems ersetzen. Nur durch die Betrachtung der gesamten Prozesskette lassen sich letztendlich ausgewogene und umfassende Aussagen hinsichtlich der Umweltwirkungen treffen. Die jeweilige Verwendung der Ergebnisse hinsichtlich der Umweltwirkung ist vor diesem Hintergrund gewissenhaft zu prüfen und abzuwägen.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass zur Gesamtbewertung sowohl von Haltungsverfahren als auch Gesamtsystemen weitere Zielgrößen heranzuziehen sind, die im Rahmen des nationalen Bewertungsrahmen nicht oder nur teilweise mit berücksichtigt werden können. Dazu gehören der Verbraucherschutz, die Wirtschaftlichkeit, der Arbeitsschutz und z. B. sozio-ökonomische Ziele.

Die Arbeitsgruppe „Umwelt und Verfahrenstechnik“ hält daher den Ausbau des Bewertungsrahmen in einem Folgeprojekt für notwendig und stellt im Rahmen des laufenden Projektes die dafür notwendigen Schnittstellen bereit. Das Projekt liefert damit einen wesentlichen Baustein für die erstrebenswerte Gesamtbewertung von Prozessketten .



Döhler 2004

Abb. 3: Beitrag des nationalen Bewertungsrahmen zu Bewertungen von Gesamtsystemen

## Ethologische und ökonomische Beurteilung von Schweinemastverfahren *Ethological and economical evaluation of pig fattening systems*

WILHELM PFLANZ<sup>1</sup>, JÜRGEN BECK<sup>1</sup>, THOMAS JUNGBLUTH<sup>1</sup>, JOSEF TROXLER<sup>2</sup>,  
HANSJÖRG SCHRADE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, D-70593 Stuttgart

<sup>2</sup> Veterinärmedizinische Universität Wien, Institut für Tierhaltung und Tierschutz, A-1210 Wien

<sup>3</sup> Ministerium für Ernährung und ländlichen Raum Baden-Württemberg, Referat 26, D-70182 Stuttgart

**Schlüsselwörter:** Schweinemast, Ethologische Bewertung, Direktbeobachtung, Integumentbeurteilung  
**Keywords:** *Pig fattening, ethological assessment, direct observation, integument scoring*

### Zusammenfassung

*In einer Feldstudie mit insgesamt 20 Praxisbetrieben werden vier innovative Schweinemastverfahren beurteilt. Je Verfahren werden fünf typgleiche Ställe über einen Zeitraum von einem Jahr nach verschiedenen Kriterien hin untersucht. Schwerpunkte sind hier die ethologischen sowie ökonomischen Erhebungen. Die ethologische Untersuchung basiert vor allem auf der Direktbeobachtung mit der Scan-Sampling Methode und Videounterstützung sowie der Integumentbeurteilung nach „Ekesbo“. Die ökonomische Beurteilung findet mit Hilfe von Arbeitszeiterhebungen sowie der Ermittlung der jeweiligen Stallplatzkosten statt. Die Ergebnisse aus Versuchsblock I und II zeigen, dass die Strukturierung der Bucht in Systemen mit getrennten Klimabereichen am besten gelingt. Ethopathien wurden bislang am häufigsten im konventionellen System beobachtet. Bei der Integumentbeurteilung waren Schäden an den Gliedmaßen vor allem bei den einstreulosen Systemen zu beobachten.*

### Summary

*In a field study with in total 20 practical farms four innovative pig fattening systems are evaluated. For each system five similar stables are investigated on several criteria for a time period of one year. Main topics are the ethological and economical enquiries. The ethological investigation is based on the direct observation with the scan-sampling method and video support as well as the integument scoring following "Ekesbo". The economical evaluation takes place with labour time requirements and the enquiry of costs per fattening place for each system. The results from the investigation periods I and II show that the structuring of the pens is successful in systems with separate climatic areas. Idle behaviour has been observed up to now mostly in the conventional system. By the integument scoring, damages at the legs are shown primarily in the systems without straw.*

## 1 Einleitung und Problemstellung

Waren bisher vor allem die Produktqualität landwirtschaftlicher Erzeugnisse in der Öffentlichkeit von Bedeutung, so gewinnen in jüngster Zeit zunehmend deren Prozessqualitäten an Bedeutung. Vor allem im Bereich der tierischen Veredelung wie in der Schweinemast wachsen die Verbraucheransprüche hinsichtlich ethischer Vorstellungen. So finden sich die Landwirte im Spannungsfeld zwischen den ökonomischen Ansprüchen an ihren Betrieb einerseits sowie den Verbraucherwünschen andererseits wieder. In den vergangenen fünfzehn Jahren gab es gerade in Süddeutschland immer wieder innovative Konzepte und Ansätze in Form von neuen frei belüfteten Schweinemastverfahren, die hierauf eine Antwort bieten wollten. Ebenso gab es auch bei den konventionellen Verfahren Neuerungen unter anderem in Form von schlitzreduzierten Liegeflächen, Strukturierung der Buchten sowie dem Anbieten von Beschäftigungstechnik. Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, eine ganzheitliche Einordnung bzw. Bewertung vier dieser innovativer Verfahren vorzunehmen, um für die Praxis die wichtige Fragestellung zu beantworten, wie der Tierschutz und eine gute Rentabilität für landwirtschaftliche Familienbetriebe mit diesen modernen Haltungsverfahren für Mastschweine miteinander verknüpft werden können.

## 2 Untersuchte Varianten

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden 20 Praxisbetriebe aufgeteilt in vier Haltungsverfahren (Zielvarianten) mit je fünf Ställen untersucht. Die Hauptkriterien für die Einordnung der vier zu untersuchenden Systeme sind in Tabelle 1 definiert. Der Leitsatz bei der Betriebsauswahl vor Ort war, dass die Variation der einzelnen Handlungsmerkmale innerhalb eines Systems kleiner sein sollte als die zwischen den Systemen; dennoch konnten nicht immer alle Parameter voll erfüllt werden.

Tab. 1: Definition der Handlungsmerkmale für die untersuchten Systeme  
*Overview of the housing-systems under investigation*

	Zielvariante I	Zielvariante II	Zielvariante III	Zielvariante IV
Kurzbeschreibung	aufgewertetes konventionelles System	Schrägbodensystem mit Minimalstroh	Offenfrontstall mit Ruheboxen	Auslaufstall mit Zweiflächenbucht und Stroh
Flächenangebot je 110 kg Lebendmasse	1,0 m <sup>2</sup>	1,0 m <sup>2</sup>	1,0 m <sup>2</sup>	> 1,0 m <sup>2</sup>
Min. Liege- bzw. planbefestigte Fläche	30 % (schlitzreduziert)	70 % (plan)	50 % (plan)	50 % (plan)
Max. Spaltenbodenanteil	70 %	30 %	50 %	50 %
Strohgabe	nein	Minimalstroh	fakultativ	Einstreu
Beschäftigungsangebot	ja	ja	ja	ja
Klimabereiche	einheitlich	einheitlich	getrennt	getrennt

### 3 Versuchsaufbau

Die Untersuchungen fanden über einen Zeitraum von einem Jahr statt. Die zwölf Monate waren in vier Blöcke parallel zu den Jahreszeiten aufgeteilt, um etwaige jahreszeitliche Effekte herauszuarbeiten. Je Beobachtungsblock wurde jeder Stall einmal an zwei aufeinander folgenden Tagen (zum Ausgleich des Tageseffekts) besucht. Pro Woche konnten somit zwei Betriebe untersucht werden. Dies entsprach etwa zehn Untersuchungswochen pro Beobachtungsblock. Innerhalb der Blöcke wurden die einzelnen Systeme in fünf Durchgängen nacheinander abgearbeitet. Die Verteilung der Betriebe auf die Systeme erfolgte zufällig mit der Einschränkung, dass Betriebe mit Rein/Raus-Verfahren gezielt bei den geforderten Gewichtsbereichen angefahren werden mussten bzw. vereinzelt auf Wunsch der Betriebsleiter auch Alternativtermine zu akzeptieren waren. Für jedes Verfahren wurden fünf Betriebe pro Jahreszeit untersucht. Nach vier Untersuchungsblöcken mit insgesamt 160 Untersuchungstagen standen 20 Wiederholungen je Verfahren zur Auswertung zur Verfügung.

### 4 Untersuchungsparameter

Die Schwerpunkte der Untersuchung wurden auf die ethologische sowie ökonomische Einordnung der einzelnen Haltungssysteme gelegt. Parallel dazu wurden weitere Randparameter erfasst, wie z. B. Stallklimadaten und Lichtverhältnisse, die teilweise direkt oder indirekt mit den definierten Hauptuntersuchungspunkten in Zusammenhang stehen. Die ethologische Bewertung basierte vor allem auf Direktbeobachtungen mit der Scan-sampling Methode und Videounterstützung sowie der Integumentbeurteilung nach Ekesbo (EKESBO, 1992). Für die ökonomische Beurteilung werden die Stallplatzkosten nach der DIN 276 sowie der Arbeitszeitaufwand mit Hilfe von Arbeitszeittagebüchern erhoben.

#### 4.1 Direktbeobachtung mit der Scan-Sampling Methode

Die Scan-Sampling Methode ist eine gut geeignete Methode für Felduntersuchungen, da keine Fokustierkennzeichnung nötig ist, das heißt jeweils die gesamte Buchtengruppe wird als Grundeinheit betrachtet. Es wurde ein Ethogramm mit definierten Indikatormerkmalen erstellt, mit welchem die einzelnen Buchten in bestimmten Zeitintervallen „gescannt“ wurden. Das Ethogramm war zweigeteilt, zum einen wurde festgestellt, wo sich die Tiere aufhielten und wie ihre Körperstellung war. Hiermit kann eine wesentliche Forderung des Tierschutzes überprüft werden, ob tatsächlich eine Strukturierung der Bucht für die Tiere möglich ist. Zum anderen wurden bestimmte gezeigte aktive Verhaltensweisen aufgenommen, die als Indikatoren eine Einordnung der Systeme ermöglichen wie z. B. Stangenbeißen als Leerlaufhandlung (WEBER, 2003). Entsprechend der Methode wurden alle Tiere gezählt, welche die einzelnen Verhaltensweisen zeigten. Es wurden immer zwei Buchten parallel beobachtet. Die Datenaufnahme je Bucht fand in zeitlicher Rotation von drei Minuten statt. Beobachtet wurde von einem erhöhten Beobachtungsstuhl aus zu den Hauptaktivitätszeiten am Vormittag und späten Nachmittag jeweils für zwei Stunden, wobei pro Beobachtungsgang effektiv 96 min festgehalten wurden. Beobachtet wurden Gruppen in zwei Lebendmassebereichen, am Ende der Vormast mit 40 bis 50 kg sowie in der Mitte der Hauptmast mit 70

bis 80 kg. Für die Beobachtung nicht einsehbarer Bereiche wurde eine mobile Videoanlage konzipiert und angeschafft, welche eine zeitgleiche Beobachtung vom Beobachtungssitz aus mit Monitor via Funkübertragung ermöglichte. Die Datenaufnahme fand auf robusten Tablet PC's statt. Hierzu wurde eigens eine Beobachtungssoftware (ETHOSCAN 04) mit einer eingabefreundlichen Maske erstellt (Abbildung 1). Dies führte zu einer weiteren Standardisierung der Datenerhebung. Innerhalb des Programms war jeder Betrieb genau entsprechend der Ausführung seiner Funktionsbereiche definiert.



Abb. 1: Eingabemaske für die Direktbeobachtung auf einem Tablet-PC mit der Software ETHOSCAN 04  
*Input mask for the direct observation on a tablet pc with the software ETHOSCAN 04*

## 4.2 Integumentbeurteilung nach Ekesbo

Mit der Integumentbeurteilung nach Ekesbo wurde versucht, die direkte Wirkung der Haltungsumwelt (z. B. scharfe Betonkanten, Stufen usw.) sowie deren indirekte Wirkung (z. B. Aggressionen der Tiere untereinander durch Reizarmut oder beengte Platzverhältnisse) auf die Tiere zu erfassen und zu bewerten. Dies geschieht über klinische Untersuchungen, einschließlich besonderer Registrierungen von Schäden, Verletzungen und Veränderungen an verschiedenen Körperregionen. Gegenüber anderen Methoden, wie etwa Schlachtkörperuntersuchungen zeichnet sich diese Methode sowohl durch eine gute Durchführbarkeit im Feld (auch von Nichtveterinären) als auch durch ihre Eignung für große Stichprobenumfänge aus. Es wurden je Betriebsbesuch (Doppeltag) aus je vier Buchten (zwei Buchten pro Gewichtsbebereich analog zur Direktbeobachtung) 20 % der Tiere bonitiert (immer mindestens fünf). Die Auswahl der jeweiligen Tiere war zufällig. Die Bonitur erfolgt direkt in der Bucht. Bei Erstellung des zu bonitierenden Merkmalkatalogs wurde auf die Durchführbarkeit im Feld geachtet. Auf eine zu große Ausführlichkeit wurde verzichtet. Ziel der Bonitur war es, besonders die Kernpunkte herauszuarbeiten. Da verschiedene Beobachter die Beurteilung durchführten, wurde ein klar differenzierter Bilderkatalog zusammengestellt, der als definierter Standard galt. Weiterhin wurden regelmäßig Vergleichsbeobachtungen und -bonituren aller untersuchenden Personen in einem Versuchsbetrieb durchgeführt.

## 5 Ergebnisse

Vorgelegt werden Ergebnisse der ethologischen Untersuchungen aus Block I und II. Entsprechend zum Vorgehen der Direktbeobachtung mit Hilfe der Scan-Sampling Methode werden die Ergebnisse als „gezeigtes Verhalten während der Beobachtungszeit in Prozent“ angegeben. Es wurde beobachtet, dass die Tiere in Verfahren mit getrennten Klimabereichen fast doppelt so häufig von der Gesamtliegezeit im Liegebereich liegen als bei dem konventionellen oder dem Schrägbodenverfahren (Abbildung 2). Analog hierzu erhöhte sich damit auch das Merkmal Seitenlage im Liegebereich. Somit sind aus Sicht der Tierschutzforderung „Strukturierung der Bucht“ die Systeme mit getrennten Klimabereichen bei dieser Fragestellung besser zu beurteilen.

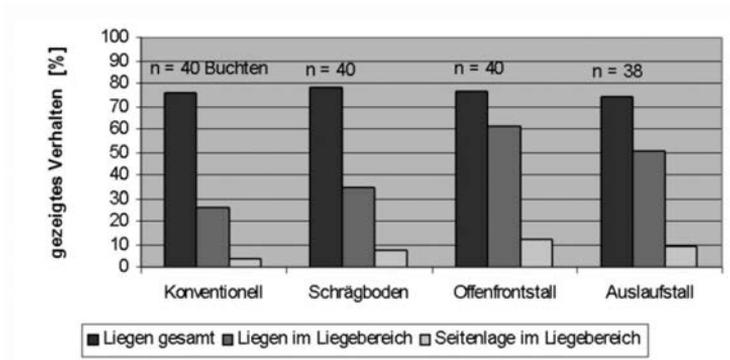


Abb. 2: Akzeptanz des Liegebereichs in den untersuchten Haltungsverfahren für Mastschweine  
*Acceptance of laying area in the pig-fattening systems under investigation*

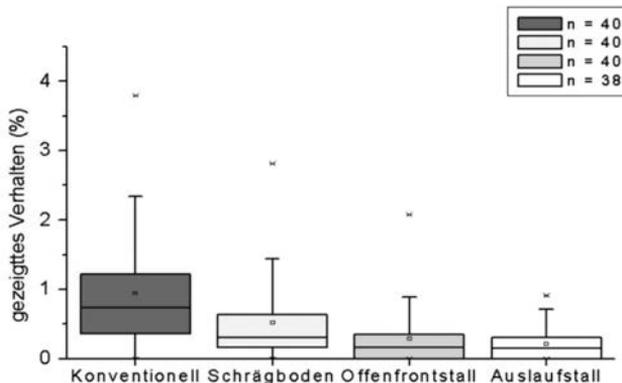


Abb. 3: Gezeigte Ethopathien in den untersuchten Haltungsverfahren für Mastschweine  
*Shown idle behaviour in the pig-fattening systems under investigation*

Weiterhin wurden gezeigte aktive Verhaltensweisen als Indikatormerkmale für Wohlbefinden bzw. Nichtwohlbefinden aufgenommen. In Abbildung 3 werden die Merkmale Schwanz-

und Ohrenbeißen, Stangenbeißen sowie Leerkauen unter dem Sammelmerkmal Ethopathien zusammengefasst. Die Ergebnisse zeigen einen fast linearen Abfall der Merkmalshäufigkeit von System I zu IV. Tiefergehende Untersuchungen zeigten weiterhin, dass es innerhalb der einzelnen Systeme auf der Betriebsebene große Streuungen gab und der einzelne Betriebs-effekt den gemittelten Systemeffekt übersteigen kann. Dies ist sicher zum Teil durch das betriebsindividuelle Management der jeweiligen Systeme zu erklären.

Bei den Ergebnissen der Integumentbeurteilung zeigte sich deskriptiv, dass in Systemen mit Stroheinstreu weniger Umfangsvermehrungen an den Hintergliedmaßen in Form von Gelenksentzündungen und Schleimbeutelvergrößerungen zu bonitieren waren. Weiterhin konnte eine erhöhte Anzahl Kratzer und Wunden an den Ohren sowie am Körper beim konventionellen System beobachtet werden, hier waren aber auch wiederum über alle Systeme hinweg große individuelle Betriebseffekte festzustellen.

## 6 Schlussfolgerungen

Mit dem verwendeten ethologischen Untersuchungsprogramm ist eine Einordnung bzw. Bewertung der einzelnen Systeme möglich. Die Akzeptanz der Funktionsbereiche war während des untersuchten Winter- und Frühjahrsblocks in den Systemen mit getrennten Klimabereichen höher, so sind diese aus ethologischer Sicht für diese Fragestellung besser zu beurteilen. Minimalstrohgaben reduzieren Ethopathien und führen gleichzeitig zu weniger Schäden an den Gliedmaßen. Über alle Untersuchungen hinweg zeigte sich der starke betriebsindividuelle Einfluss auf die einzelnen Verfahren, welcher den gemittelten Systemeffekt übersteigen kann. Dies stellt die Bedeutung des individuellen Managements des einzelnen Betriebs auf die Tiergerechtheit für das jeweilige System heraus.

## 7 Literatur

EKESBO, I. (1992): Monitoring systems using clinical, subclinical and behavioural records for improving health and welfare. In: *Livestock Health and Welfare*, Longmann Scientific, Harlow, S.20–50.

WEBER, R. (2003): Wohlbefinden von Mastschweinen in verschiedenen Haltungssystemen unter besonderer Berücksichtigung ethologischer Merkmale. Dissertation, Universität Hohenheim.

## Nationaler Bewertungsrahmen für Tierhaltungsverfahren – Teil Tiergerechtheit *National Assessment for Animal Husbandry – Part Animal Welfare*

**DIRK SCHÄFFER, BEATE BÜNGER, MICHAEL MARAHRENS, CHRISTOPHER OTTO,  
LARS SCHRADER, FRANK ZERBE**

Institut für Tierschutz und Tierhaltung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Dörnbergstraße 25–27, D-29223 Celle

**Schlüsselwörter:** Nationaler Bewertungsrahmen, Tierhaltungsverfahren, Tiergerechtheit  
**Keywords:** *National Assessment, Animal Husbandry, Animal Welfare*

### **Zusammenfassung**

*Im Projekt „Nationaler Bewertungsrahmen zur Beschreibung des Standes der Technik bei Tierhaltungsverfahren“ sollen die Auswirkungen unterschiedlicher Haltungsverfahren auf Tier und Umwelt gleichrangig gegenübergestellt und bewertet werden. Das Institut für Tierschutz und Tierhaltung der FAL bearbeitet dabei den Teil „Tiergerechtheit“.*

*Nach einer Übersicht zu den bisher entwickelten Bewertungs- und Beurteilungskonzepten wird der gegenwärtige Ergebnisstand des Projektes dargestellt. Für die Bewertung der Tiergerechtheit von 138 ausgewählten Tierhaltungsverfahren wurden ethologische und klinische Indikatoren ausgewählt. Mit den ethologischen Indikatoren soll die Möglichkeit zur Ausübung bestimmter Verhaltensweisen (Normalverhalten der Funktionskreise) bewertet werden. Mithilfe von klinischen Indikatoren soll eine Risikoabschätzung für das Auftreten von Verhaltensabweichungen und Erkrankungen erfolgen.*

### **Summary**

*The aim of the project “National catalogue for assessing animal husbandry systems” is to evaluate the impact of selected husbandry systems on both the animals and the environment. The Institute of Animal Welfare and Animal Husbandry is responsible for the animal welfare aspect.*

*Firstly, an overall view on different assessment systems for animal welfare (for Example TGI 200, critical control points – CCP’s) is given and, secondly, the current state of the project is presented. In order to assess a total of 138 selected husbandry systems a list of ethological and clinical indicators was defined. The ethological indicators shall be used to rate the degree the animals are able to perform certain behaviours within the respective husbandry system. The clinical indicators shall be used to evaluate the risk of diseases and behavioural disorders.*

## 1 Einleitung

Zwischen der Tier- und der Umweltgerechtigkeit von Halungsverfahren für landwirtschaftliche Nutztiere bestehen oft Zielkonflikte. Beispielsweise können sich Halungsverfahren, die den Tieren Kontakt zum Außenklima ermöglichen (Freilandhaltung, Offenfrontställe, Kaltscharräume, etc.), einerseits positiv auf Aspekte des Verhaltens oder auch der Tiergesundheit auswirken, andererseits können sie sich negativ auf die Emission von Schadgasen in die Umwelt auswirken.

Bislang fehlen Dokumente, in denen die Auswirkungen von Tierhaltungsverfahren auf die Tiergerechtigkeit und die Umwelt systematisch gegenüber gestellt und gleichrangig bewertet werden. Gerade bei Genehmigungsverfahren für Stallumbauten und -neubauten erscheint eine Gegenüberstellung zwischen den Anforderungen des Tieres an das Halungsverfahren mit der Umweltbilanz notwendig. Außerdem kann eine solche Gegenüberstellung sowohl als Planungsgrundlage für Landwirte, Architekten und Berater von Nutzen sein, als Grundlage für Fördermaßnahmen dienen und darüber hinaus auch den Verbraucherinnen und Verbrauchern Informationen über die verschiedenen Produktionsprozesse bieten.

## 2 Projektziel

Auf dieser Grundlage erarbeitet das Institut für Tierschutz und Tierhaltung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Celle gemeinsam mit dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) den „Nationalen Bewertungsrahmen zur Beschreibung des Standes der Technik bei Tierhaltungsverfahren“. Unterstützt werden beide Einrichtungen durch je eine begleitende Arbeitsgruppe von ca. 20 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Beratung, Verbänden und Politik.

Das Ziel des Projektes ist die systematische und umfassende Beschreibung und Bewertung des Standes der Technik von Halungsverfahren für Geflügel, Pferde, Rinder und Schweine. Explizit werden auch Halungsverfahren berücksichtigt, die bisher noch keine weite Verbreitung gefunden haben, beispielsweise alternative Halungsverfahren. Innerhalb des Projekts bearbeitet das KTBL den Aspekt „Umwelt und Verfahrenstechnik“ (s. Beitrag ACHILLES et al.) und das Institut für Tierschutz und Tierhaltung der FAL den Aspekt „Tiergerechtigkeit“. Zur Darstellung der ökonomischen Auswirkungen der einzelnen Halungsverfahren werden auch ökonomische Kenngrößen einbezogen.

## 3 Ansätze zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit

Es existieren bereits verschiedene Konzepte mit unterschiedlichen Ansätzen, die zu einer Beurteilung der Tiergerechtigkeit von Tierhaltungsverfahren herangezogen werden. Alle Konzepte beruhen zumeist auf einer Vielzahl verschiedener Indikatoren, um die Komplexität der Faktoren, die die Tiergerechtigkeit beeinflussen können, abzudecken.

Ein großes methodisches Problem stellt die Gewichtung der Einzelkriterien und die Verdichtung der Einzelbefunde zu einer abschließenden Beurteilung dar. Besonders schwierig ist es beispielsweise, wenn von den Halungsbedingungen positive Effekte auf Gesundheitsparameter und negative auf Verhaltensweisen bzw. umgekehrt ausgehen. Ein allgemein anerkanntes

und einheitliches Konzept für die Bewertung der Tiergerechtheit existiert zurzeit nicht. Grundsätzlich lassen sich mehrere Ebenen unterscheiden, auf denen die Tiergerechtheit beurteilt werden kann. Diese ergeben sich aufgrund der verschiedenen Zielsetzungen für die Beurteilung von Haltungsbedingungen mittels Tier bezogener Indikatoren, die SUNDRUM et al. (1999) in betriebsinterne Zielsetzungen wie: Schwachstellenanalyse, Herdenbestandsbetreuung und Leistungsoptimierung, Minderung von Tierverlusten sowie Entscheidungshilfe bei Investitionen und außengerichtete Zielsetzungen wie: Einhaltung gesetzlicher Vorgaben, Vergleich von Haltungsbedingungen zwischen landwirtschaftlichen Betrieben, Überprüfung in Markenprogrammen sowie Förderung der Vermarktung unterscheidet. Auf dieser Basis kann die nachfolgende Einteilung von bisher angewendeten Bewertungsverfahren zur Tiergerechtheit getroffen werden. Die ersten Ansätze für eine Beurteilung von Haltungsverfahren stellten praktische Evaluierungen vorhandener Haltungsstrukturen dar, bei denen die **Einhaltung gesetzlicher Standards** im Vordergrund stand. Der Einsatz dieser Beurteilungssysteme erfolgte nur in einzelnen Tierhaltungen zur Feststellung von aktuellen Problemen im Hinblick auf die Einhaltung bzw. Verbesserung gesetzlicher Standards (z. B. Checkliste Schweinemast LWK Hannover, 1985 und Check Schweinehaltungsverordnung BICKER, 1992). Das Hauptarbeitsinstrument bildeten Checklisten für den Stall. Bereits weiter gefasst ist das Konzept der so genannten **on-farm-Bewertungen oder Betriebsbeurteilungen**. Bei diesen praktischen Bewertungskonzepten wird in einzelnen Betrieben die Tiergerechtheit anhand von sehr vielen Kriterien beurteilt. Die Kriterien sind dabei sowohl Tier (z. B. Schäden an den Tieren) als auch Technik bezogen (z. B. Einhaltung festgelegter Mindestmaße) und berücksichtigen auch das Management (z. B. Einhaltung von Prophylaxemaßnahmen zur Tiergesundheit). Bewertungen dieser Art lassen Aussagen über die Tiergerechtheit in einem spezifischen Betrieb oder in einem Stall zu. Genutzt werden können solche Konzepte auch für eine Produktion begleitende Qualitätskontrolle. Als Beispiele lassen sich die verschiedenen Tiergerechtheitsindices (TGI 200 SUNDRUM et al., 1994; TGI 35L BARTUSSEK, 1995 und TGI-FHR MATTHES et al., 1999) sowie Konzepte die mit kritischen Kontrollpunkten (CCP's) arbeiten (BORELL et al., 2001, 2002) oder auch Cluster-Systeme (CALAMARI et al., 2003) nennen. Mithilfe von **Prüf- und Referenzverfahren** werden einzelne Tierhaltungsverfahren oder auch spezielle Haltungseinrichtungen anhand verschiedener Indikatoren beurteilt. Als Beurteilungsgrundlage dienen vorhandene wissenschaftliche Erkenntnisse, gesicherte praktische Erfahrungen oder exemplarische wissenschaftliche Untersuchungen. Die Ergebnisse werden auf gleiche oder sehr ähnliche Haltungsverfahren oder -einrichtungen verallgemeinert. Mit solchen Bewertungskonzepten werden gewissermaßen „a priori“ Aussagen über die Tiergerechtheit von Haltungssystemen bzw. -einrichtungen gemacht. Sie sind damit für Investitionsfördermaßnahmen sowie für Genehmigungen und Zulassungen geeignet. Beispiele hierfür sind die „DLG-Prüfung“ (HESSE et al., 2000 und HESSE et al., 1999) und das „Prüf- und Zulassungsverfahren“ (z. B. in der Schweiz). In Systemen zur übergreifenden Verfahrensbewertung, die hauptsächlich der Einhaltung der gesetzlichen Mindeststandards dienen sowie der Überprüfung freiwilliger Bestimmungen von Vermarktungsorganisationen, die über den gesetzlichen Standard hinausgehen, wird in den Qualitätsanforderungen vermehrt mit der Gewährleistung hoher Tierschutz-Standards geworben. Allerdings werden Tier bezogene Indikatoren oft nur ausschnittartig auf dem Niveau gesetzlich vorgeschriebener Mindeststandards (z. B. QUALITÄT UND SICHERHEIT, 2002) in den Kontrolllisten berücksichtigt. Die Möglichkeit des Einsatzes **theoretischer Modelle aus der Nutztierethologie** wurde bereits sehr frühzeitig für die Bewertung der Tiergerechtheit von Haltungsbedingungen überprüft (z. B. Handlungsbereitschaftsmodell BUCHHOLTZ, 1993 und Bedarfsdeckungs- und Schadensvermeidungskonzept DVG,

1993). Eine vergleichende Übersicht und umfassende Kritik hinsichtlich ihrer Eignung für ethologische Bewertungskonzepte gaben RICHTER und STRAUB (2000). Mittlerweile wurden auch in anderen Wissenschaftsdisziplinen wie der **Ethik** (z. B. Ethisches Bewertungsmodell BUSCH und KUNZMANN, 2004) und über **empirische Analysen** (z. B. Conjoint-Analyse MÜLLER und SCHMITZ, 2002) weitere Ansätze für Beurteilungsverfahren entwickelt. **Ergebnisorientierte Bewertungen** nutzen überwiegend Tier bezogene Indikatoren, um retrospektiv die Auswirkungen der Haltung auf die Tiere zu beurteilen. So werden etwa Schlachtkörperbefunde erhoben und Aufzeichnungen über Tierverluste ausgewertet. Solch ein Bewertungskonzept wird beispielsweise in Schweden in der Broilerhaltung (ALGERS and BERG, 2001) eingesetzt, wo sich die zulässige Besatzdichte nach den Schlachtbefunden richtet. Die Anwendung der vorgestellten Bewertungssysteme kann durch den Tierhalter im Rahmen der betrieblichen Eigenkontrolle, durch Organisationen und Verbände im Rahmen der Qualitätskontrolle, durch neutrale Prüffirmen oder auch mithilfe wissenschaftlicher Untersuchungen zu speziellen Fragestellungen erfolgen. Der „Nationale Bewertungsrahmen“ ist ein übergreifendes, theoretisches Bewertungsverfahren, das den bisher bekannten Stand der Bewertung von Tierhaltungsverfahren berücksichtigt und auch als Grundlage für on-farm-Bewertungen sowie Prüf- und Zulassungsverfahren dienen kann.

#### 4 Ergebnisse und weiteres Vorgehen

In der ersten Phase des Projekts erfolgte zunächst die Sammlung von Daten und Statistiken zur Verbreitung der in Deutschland verwendeten Haltungsverfahren. Danach wurden gemeinsam mit den begleitenden Expertinnen und Experten insgesamt 138 Haltungsverfahren ausgewählt, die detailliert beschrieben wurden und für die eine Bewertung des gesamten Verfahrens erfolgen soll. Berücksichtigt werden 40 Haltungsverfahren für Geflügel, 7 für Pferde, 48 für Rinder und 43 für Schweine. Bei der Auswahl der Haltungsverfahren wurden sowohl konventionelle bzw. stark verbreitete als auch besonders zukunftsfrüchtige bzw. bisher wenig verbreitete Haltungsverfahren berücksichtigt.

Um darüber hinaus die Vielfalt der Haltungsverfahren berücksichtigen zu können, wurde eine Datenbank angelegt, die modulartig aufgebaut ist. Entscheidendes Element im Aufbau sind die Modulbereiche (MB). Bisher wurden 42 MB festgelegt, die sich überwiegend an den Funktionsbereichen des Verhaltens (Lauf- und Liegebereich), der Ausführung des Verhaltens (z. B. Beschäftigung), der baulichen Grundausstattung im Haltungsverfahren (z. B. Aufbau der Buchten, Boxen, Käfige usw.) und an den verfahrenstechnischen Gegebenheiten (z. B. Fütterungs- und Melktechnik) orientieren. In Tabelle 1 ist die Struktur der Datenbank an einem sehr stark vereinfachten Beispiel für die Schweinehaltung dargestellt.

Tab. 1: Aufbau des Bewertungsrahmens  
*Structure of the assessment system*

Tierart	Produktionsrichtung	Haltungsform	Haltungsverfahren	Modulbereich	Modul	Modulausprägung
Schwein	Mastschwein	Einflächenbucht	Einflächenbucht mit perforiertem Boden und Kleingruppe	Laufbereich	Bodengestaltung	perforiert

Die Gesamtheit der Beschreibung durch Modulbereich, Modul und Modulausprägung sollte alle baulichen Varianten subsumieren, die innerhalb eines Haltungsverfahrens in der Praxis auftreten können. In der *zweiten Phase* wurde ein Bewertungskonzept aufgestellt, mit dessen Hilfe die Bewertung der Verfahren erfolgen soll. Hauptbestandteil ist eine Indikatorenliste mit der die einzelnen Ebenen der Haltungsverfahren – im Hinblick auf ihren direkten Einfluss auf das Tier – evaluiert werden. Dabei wurden sowohl ethologische als auch klinische Indikatoren berücksichtigt. Bei den ethologischen Indikatoren lässt sich bewerten, wie sich die spezifischen baulich-technischen Eigenheiten der Haltungsverfahren auf die Möglichkeiten zur Ausübung des Verhaltens auswirken bzw. ob und wie stark das Normalverhalten beeinträchtigt wird. Diese Indikatoren repräsentieren essentielle Verhaltensweisen, die im Rahmen der Funktionskreise des Verhaltens ausgeführt werden. Bei den klinischen Indikatoren (z. B. Verhaltensstörungen, Morbidität, Mortalität) werden für die verschiedenen Haltungsverfahren nur Risiken, beispielsweise für das Auftreten von Erkrankungen, angegeben, da diese klinischen Indikatoren überwiegend durch das Management beeinflusst werden. Obwohl das Management in jedem Haltungsverfahren immer einen sehr großen Einfluss auf die Tiergerechtigkeit hat, kann es im Nationalen Bewertungsrahmen nicht berücksichtigt werden, da keine einzelbetrieblichen Erhebungen erfolgen können und sollen. Innerhalb des Bewertungsrahmens wird daher generell die Einhaltung der „Guten fachlichen Praxis“ für das jeweilige Haltungsverfahren als „gegeben“ unterstellt. Nach Möglichkeit sollen in den Bewertungsrahmen auch Hinweise auf die Gute fachliche Praxis gegeben werden.

Grundlage für die abschließende Bewertung der Haltungsverfahren, die erst in der *dritten Phase* als separate Teilaufgabe des Projekts erfolgen soll, werden wissenschaftliche Erkenntnisse sowie gesicherte praktische Erfahrungen über die einzelnen Haltungsverfahren sein.

## 5 Literatur

- ALGERS, B.; BERG, C. (2001): Monitoring Animal Welfare on Commercial Broiler Farms in Sweden. *Acta vet. scand.* 51 (30), 88–92.
- BARTUSSEK, H. (1995): Der Tiergerechtheitsindex TGI 35 L/1995 für Mastschweine. Dezember 1995, Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein.
- BICKER, J. (1992): Erhebung zur Haltung von Mutterschweinen in Praxisbetrieben anhand einer Checkliste unter besonderer Berücksichtigung der Schweinehaltungsverordnung. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität München.
- BORELL, E. v.; BOCKISCH, F.-J.; BÜSCHER, W.; HOY, S.; KRIETER, J.; MÜLLER, C.; PARVIZI, N.; RICHTER, T.; RUDOVSKY, A.; SUNDRUM, A.; VAN DEN WEGHE, H. (2001): Critical control points for on-farm assessment of pig housing. *Livest. Prod. Sci.* 72, 177–84.
- BORELL, E. v.; SCHÄFFER, D.; HÖVER, K.; KIRSCHSTEIN, T. (2002): Beurteilung der Tiergerechtigkeit von Schweinehaltungssystemen in Betrieben mit unterschiedlichen Produktionsstufen und Bestandsgrößen anhand des Konzepts der Kritischen Kontrollpunkte. *Rentenbank-Schriftenreihe*, Bd. 17, 105–30.
- BUCHHOLTZ, C. (1993): Das Handlungsbereitschaftsmodell – ein Konzept zur Beurteilung und Bewertung von Verhaltensstörungen. In: MARTIN, G. (Hrsg.): *Leiden und Verhaltensstörungen bei Tieren*. Tierhaltung Bd. 23, Verlag Birkhäuser, Basel.
- BUSCH, R. J.; KUNZMANN, P. (2003): *Leben mit und von Tieren*. Ethisches Bewertungsmodell zur Tierhaltung in der Landwirtschaft. TTN – Institut Technik Theologie Naturwissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität München.

CALAMARI, L.; BIONAZ, M.; BERTONI, G. (2003): A new model to evaluate the welfare status in the dairy farms. 4th EurSafe Congress, Toulouse, 20–22 March 2003: 77–80.

DVG-FACHGRUPPE Verhaltensforschung, Autorengemeinschaft (1993): Bedarfsdeckung und Schadensvermeidung – Ein ethologisches Konzept und seine Anwendung für Tierschutzfragen. Tierärztl. Umschau 48, 269–80.

HESSE, D.; KNIERIM, U.; BORELL, E. v.; HERRMANN, H.; KOCH, L.; MÜLLER, C.; RAUCH, H.-W.; SACHSER, N.; ZERBE, F. (1999): Verstärkte Berücksichtigung des Tierschutzes in der freiwilligen DLG-Gebrauchswertprüfung. In: H. BÖHME und G. FLACHOWSKY (Hrsg.): Aktuelle Aspekte bei der Erzeugung von Schweinefleisch. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 193, 133–37.

HESSE, D.; KNIERIM, U.; BORELL, E. v.; HERRMANN, H.; KOCH, L.; MÜLLER, C.; RAUCH, H.-W.; SACHSER, N.; ZERBE, F. (2000): Tiergerechtheit auf dem Prüfstand – Anforderungen an freiwillige Prüfverfahren gemäß § 13a TierSchG. DLG-Merkblatt 321, 1–15.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER (1987): Checkliste zur Schweinemast. In: Handbuch „Futter, Fütterung, Haltung – Schwein“, 79–88.

MATTHES, H.-D.; FREITAG, J.; GOESMANN, M.; DERNO, M.; JENTSCH, W. (1999): Physiologische Anpassung der Rinder an die Bedingungen der ganzjährigen Freilandhaltung, Entwicklung eines Tiergerechtheitsindex und Ergebnisse der Bewertung in einem ökologischen Anbauverband. 14. IGN-Tagung-6.Freiland-Tagung 1999, In: Tagungsband, 104–7.

MÜLLER, M.; SCHMITZ, M. (2002): Ökonomische, ethische und medizinische Relevanz zur Beurteilung ausgewählter Tierhaltungsverfahren und -systeme auf der Basis der Conjoint-Analyse. Rentenbank-Schriftenreihe, Bd. 17, 7–47.

QUALITÄT UND SICHERHEIT (2002): QS-Handbuch. Checkliste zur neutralen Kontrolle Schlachtung und Zerlegung. <http://www.q-s.info>.

RICHTER, T.; STRAUB, A. (2000): Vergleich von Verfahren zur Beurteilung von Tierhaltungen. DVG-Tagung „Tierschutz und Management“, Nürtingen 24./25. Februar 2000, In: Tagungsband, 9–19.

SUNDRUM, A.; ANDERSSON, R.; POSTLER, G. (1994): Tiergerechtheitsindex 200 / 1994 – Ein Leitfaden zur Beurteilung von Haltungssystemen. Köllen Verlag, Bonn.

SUNDRUM, A.; RICHTER, T.; STEINHARDT, M. (1999): Anwendung tierbezogener Indikatoren zur Beurteilung der Tiergerechtheit. Züchtungskunde 71 (1), 17–28.

## **Einflussfaktoren auf Gas- und Schwebstaubkonzentrationen in Pferdeställen mit Einzelhaltung in Boxen**

### ***Influences on gas and airborne dust concentrations in stalls for single housed horses***

ENGEL F. HESSEL<sup>1</sup>, KATHRIN FLEMING<sup>1</sup>, HERMAN VAN DEN WEGHE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Agrartechnik der Georg-August-Universität Göttingen, Gutenbergstr. 33, D-37075 Göttingen

<sup>2</sup> Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems der Georg-August-Universität Göttingen, Universitätstr. 7, D-49364 Vechta,

**Schlüsselwörter: Pferd, Ammoniak, Schwebstaub**

**Keywords: Horse, ammonia, airborne dust**

### **Zusammenfassung**

*Ziel dieser Untersuchung war es, Einflussfaktoren auf die Luftqualität in Pferdeboxen zu schätzen. Über einen Messzeitraum von acht Wochen wurden sowohl die Gaskonzentrationen von Ammoniak, Lachgas, Methan, Kohlendioxid und Wasserdampf als auch Schwebstaubkonzentrationen kontinuierlich online erfasst. Die Ammoniakkonzentrationen im Tagesverlauf waren durch zwei Anstiege gekennzeichnet, die mit den Fütterungen am Mittag und am Abend konform gingen. Der Messpunkt beeinflusste die Ammoniakkonzentrationen, sowohl zwischen als auch innerhalb der Boxen konnten signifikante Unterschiede nachgewiesen werden. Dem 14-tägigen Entmistungsintervall konnte kein nachweisbarer Einfluss auf die Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft zugeordnet werden. Jedoch wurde nach dem Entmisten über einen Zeitraum von 24 Stunden stark erhöhte Schwebstaubkonzentrationen festgestellt. Das tägliche Einstreuen der Boxen verursachte einen rapiden Anstieg der Schwebstaubkonzentration in der Stallluft. Durch das Öffnen der Boxenfenster während der Einstreuzeiten konnte dieser Anstieg deutlich um 50 % reduziert werden.*

### **Summary**

*The aim of this investigation was to evaluate the influences on air quality in horse stalls. Over a time period of eight weeks concentrations of ammonia, carbon dioxide, nitrous oxide, methane and water vapor as well as airborne dust were measured online continuously. The diurnal was characterised by two peaks, which were consistent with the feedings in the noontime and evening. The measuring point influenced in ammonia concentrations, significant differences were observed within as well as between the stalls. The 14 day interval between mucking outs did not affect the ammonia concentration. However, after mucking out clearly higher airborne dust concentrations were detected over a time period of 24 hours. The interspersion of straw in the stalls led to a rapid increase of airborne dust. By opening of the stalls windows during interspersion of straw airborne dust concentrations could be reduced by 50 %.*

## 1 Einleitung

Die Haltung von Sport- und Freizeitpferden ist mit einem Stallaufenthalt eng verbunden. Besonders die Haltung in Einzelboxen ermöglicht eine individuelle Fütterung und Betreuung der Pferde, eine ständige Verfügbarkeit und eine einfache Tierkontrolle sowie einen Schutz vor gegenseitigen Verletzungen.

Derzeit leben mehr als 1 Mio. Pferde in Deutschland (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG, 2003). von denen der überwiegende Anteil sowohl im Sport- als auch im Zucht- und Freizeitbereich in Innenboxen ohne Fenster gehalten werden.

KORRIES (2003) bestätigt dies in seiner Studie, bei der er 60 verschiedene pferdehaltende Betriebe in Niedersachsen hinsichtlich der Tiergerechtigkeit bei unterschiedlichen Haltungsbedingungen untersucht und bewertet: Die häufigste Haltungsform ist mit 63 % die Einzelhaltung in Innenboxen (ohne Fenster), 31 % der Pferde stehen in Außenboxen (mit Fenster), und 6 % werden in Laufställen gehalten.

Für die Gesundheit des Pferdes spielt die Luftqualität im Stall eine wichtige Rolle, da der Atmungsapparat der Pferde besonders empfindlich gegen Staub und Schadgase ist. Vor allem die Einzelhaltung in Innenboxen wird für viele Atemwegserkrankungen bei Pferden verantwortlich gemacht. Daher ist eine genaue Untersuchung dieses Haltungssystems hinsichtlich der Luftqualität von besonderer Bedeutung.

## 2 Tiere, Material und Methoden

Die Untersuchungen zur Bewertung der Luftqualität in Pferdeställen mit Einzelhaltung werden auf der 1997 erbauten Reitanlage des Pferdsportverbandes Weser-Ems, der Landesreit- und Fahrschule in Vechta, durchgeführt. Die Messungen erfolgten über einen Zeitraum von acht Wochen. Sie begannen am 24.2.2004 und endeten am 19.4.2004.

Der Versuchsstall ist 9,50 m breit, 38,60 m lang und hat eine Firsthöhe von 6 m (Höhe der Seitenwände beträgt 3,10 m). Das gesamte Luftvolumen des Stalles beträgt ca. 1668 m<sup>3</sup>. Im Stall befinden sich auf jeder Seite 11 Boxen, die jeweils mit einem Außenfenster ausgestattet sind. Das Luftvolumen pro Pferd beträgt ca. 76 m<sup>3</sup>.

Als Kraftfutter wird dreimal am Tag ca. 1 kg Hafer-Gerstengemisch je Pferd (gequetscht) gefüttert. Morgens bekommt jedes die Pferde zusätzlich etwa 0,5 kg Möhren. Als Raufutter steht Anwelksilage in Rundballen zur Verfügung. Es wird mit ungehäckseltem Roggenstroh aus großen Quaderballen eingestreut. Je nach Wetterlage werden die Fenster in den Boxen von ca. 9.00–18.00 Uhr geöffnet. Der gesamte Stall wird alle zwei Wochen ausgemistet. Die Boxen werden jeden Tag nachgestreut, und es wird während der vierzehn Tage zwischen dem Ausmisten kein Mist entfernt.

Für die Untersuchungen stehen drei Boxen zur Verfügung, die sich in der Mitte des Stalles auf der rechten Seite befinden. In der mittleren dieser drei Boxen, in der sich während der Messperiode kein Pferd befindet (Messbox), wird die benötigte Messtechnik aufgebaut. Bei der Messtechnik handelt es sich um das gravimetrisch messende Schwebstaubgerät TEOM (PM 10-Fraktion) der Firma Rupprecht und Patashnick Company (USA) und den Multigasmonitor 1302 und den Multiplexer 1303 der Firma Brühl & Kjaer (Dänemark). Die Schwebstaubkonzentrationen werden direkt in der Messbox kontinuierlich online erhoben. Für die Konzentrationsmessungen von Ammoniak, Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Was-

serdampf werden Messleitungen in die beiden benachbarten Versuchsboxen, Box 1 und Box 2, verlegt. In jeder dieser Box wird an zwei Messpunkten, in 1,50 m Höhe (Nüsternhöhe des Pferdes) und in 0,50 m Höhe, direkt über der Mistmatratze, die Gaskonzentration kontinuierlich online erfasst. Außerdem werden an der Außenwand des Stalles und jeweils in den beiden Messboxen Messfühler (Tiny Tag) angebracht, die über den gesamten Versuchszeitraum die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte aufzeichnen. Die täglichen Aktivitäten im Stall werden an allen Versuchstagen in Tagesprotokollen notiert. Im Folgenden wird auf die Ammoniak und Schwebstaubmessungen näher eingegangen.

## 2.1 Statistische Auswertung

Für die statistische Berechnung stehen insgesamt 8764 Ammoniakmesswerte zur Verfügung, deren Auswertung nach Transformation in eine Normalverteilung mit der Prozedur GLM des SAS- Programms erfolgt. Hierbei werden die Einflüsse fixer Effekte, Interaktionen und Regressionen auf die Gaskonzentrationen geschätzt. Als fixe Effekte gelten der Messpunkt, die Messbox, der Wochentag, die Tageszeit, das Öffnen der Fenster, die Woche und das Mistintervall. Interaktionen bestehen zwischen Messpunkt und Messbox, Öffnen der Fenster und Wochentag, Wochentag und Mistintervall, Tageszeit und Fenster sowie Tageszeit, Messpunkt und Messbox. Als Covariable werden die Innenlufttemperatur und die relative Luftfeuchte im Stall berücksichtigt.

Die statistische Auswertung der 2639 Schwebstaubwerte erfolgte ebenfalls nach Transformation in eine Normalverteilung mit Hilfe der Prozedur GLM. Als fixe Effekte wurden der Wochentag, die Tageszeit, das Öffnen der Fenster, die Versuchswoche, Mistintervall und die Lufttemperatur berücksichtigt. Interaktionen bestanden zwischen Tageszeit und Versuchswoche sowie Tageszeit und Mistintervall. Die relative Innenluftfeuchte wurde als Covariable im Modell berücksichtigt.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Ammoniak

Die in dem Versuchszeitraum gemessenen Ammoniakwerte liegen in einem Bereich von  $0,41 \text{ mg/m}^3$  bis  $88,33 \text{ mg/m}^3$ . Der Mittelwert der 8764 gemessenen Werten liegt bei  $1,92 \text{ mg/m}^3$  ( $2,76 \text{ ppm}$ ) mit einer Standardabweichung von  $2,93 \text{ mg/m}^3$ . Der Grenzwert für Ammoniak im Pferdestall beträgt  $6,96 \text{ mg/m}^3$  ( $10 \text{ ppm}$ ) (BMVEL, 1995). Über diesem liegen 2,12 % der ermittelten Werte, von denen 2,1 % am Tag und 0,02 % in der Nacht festgestellt werden. Die über den Zeitraum von 56 Tagen ermittelten Halbstundenmittelwerte wiesen innerhalb der Versuchstage ein deutlich größere Varianz auf als zwischen den Tagen. Den größten Einfluss auf die  $\text{NH}_3$ -Konzentration kann in dieser Untersuchung dem Messpunkt zugewiesen werden. In Tabelle 1 werden Mittelwerte, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Minimum und Maximum in Abhängigkeit von den vier Messpunkten dargestellt. Die mittleren Ammoniakkonzentrationen in Box 1 (Messpunkt 1 und 2) sind höher als in Box 2 (Messpunkt 3 und 4). Unterschiede zwischen den beiden Messpunkten innerhalb der Box

(oben und unten bestehen nur innerhalb der Box 1. Der Mittelwert an Messpunkt 1 liegt mit 2,46 mg/m<sup>3</sup> 20 % über dem an Messpunkt 2 mit 1,94 mg/m<sup>3</sup>.

Tab. 1: Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Minimum und Maximum der NH<sub>3</sub>-Konzentrationen in Abhängigkeit vom Messpunkt

	n	$\bar{x}$ (mg/m <sup>3</sup> )	s (mg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Min (mg/m <sup>3</sup> )	Max (mg/m <sup>3</sup> )
Messpunkt 1	2195	2,46	4,98	202,44	0,52	88,33
Messpunkt 2	2194	1,94	1,97	101,55	0,49	41,4
Messpunkt 3	2190	1,64	1,91	116,46	0,41	48,92
Messpunkt 4	2185	1,64	1,26	76,83	0,46	18,09

n, Anzahl der Werte;  $\bar{x}$ , Mittelwert; s, Standardabweichung; CV, Variationskoeffizient; Min, Minimum; Max, Maximum; Messpunkt 1, Box 1 unten; Messpunkt 2, Box 1 oben; Messpunkt 3, Box 2 unten; Messpunkt 4, Box 2 oben.

Die Ammoniakkonzentrationen weisen einen typische Tagesverlauf mit zwei Anstiegen um 11.30 Uhr und 17.30 Uhr auf, die konform mit der Mittags- und Abendfütterung gehen (Abbildung1). Bei dem Messpunkt 1 ist deutlich der höchste Peak zu erkennen. Hier werden während der Versuchsphase zur Abendfütterungszeit durchschnittliche Ammoniakkonzentrationen von knapp 14 mg/m<sup>3</sup> festgestellt. In der Zeit außerhalb der beiden Anstiege sind kaum Unterschiede zwischen den vier Kanälen zu verzeichnen. Die Messwerte liegen alle gleichmäßig auf einem niedrigen Niveau. Die Messpunkte 1 und 3 befinden sich in den Versuchsboxen unten direkt über der Mistmatratze, während die Messpunkte 2 und 4 oben auf Höhe des Pferdekopfes angebracht sind. Höhere Ammoniakwerte an den unteren Messpunkten lassen sich durch die NH<sub>3</sub>-Bildung und -Freisetzung erklären. Ammoniak wird durch enzymatische Harnstoffspaltung gebildet, dieser entsteht im Stall hauptsächlich als Zersetzungsprodukt von Stickstoffverbindungen in den Exkrementen. Daher liegen die höchsten Ammoniakkonzentrationen im Stall in der Regel am Boden über dem Mist (EUBEL, 2004).

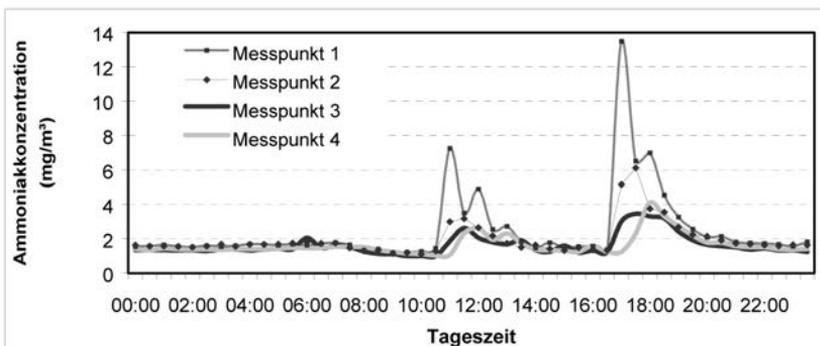


Abb. 1: Mittlere Ammoniakkonzentrationen während des Versuchszeitraumes in Abhängigkeit von der Tageszeit und dem Messpunkt. Messpunkt 1, Box 1 unten; Messpunkt 2, Box1 oben; Messpunkt 3, Box 2 unten; Messpunkt 4, Box 2 oben.

Die im Vergleich zu Box 2 weitaus höheren NH<sub>3</sub>-Konzentrationen in Box 1 sind nicht eindeutig zu erklären. Da die Bedingungen hinsichtlich der Pferde, des Futters und der Einstreu in

beiden Boxen gleich sind, könnte hier einerseits das Tierverhalten eine entscheidende Rolle spielen. Es wird vermutet, dass das Pferd in Box 1 sich deutlich unruhiger vor der Fütterung verhält und dabei die Mistmatratze aufwühlt, so dass Ammoniak vermehrt freigesetzt wird. Andererseits könnte das Tier selbst die Ursache sein. Obwohl beide Pferde ungefähr gleichen Alters sind, die gleiche Menge Futter bekommen und im gleichen Umfang (Schulbetrieb) bewegt werden, kann die Futtermittelverwertung, die Urinabgabe und der gesamte Stoffwechsel von Pferd zu Pferd verschieden sein. Die untersuchten Boxen werden im 14-tägigen Rhythmus ausgemistet. Bei der Betrachtung der einzelnen Tage nach dem Misten sind keine eindeutig steigenden  $\text{NH}_3$ -Konzentration zu beobachten. Am Tag des Misten sowie einen Tag später werden die geringsten Ammoniakkonzentrationen detektiert. Ab dem zweiten Tag nach dem Misten bis zum nächsten Misten liegen die mittleren Ammoniakkonzentrationen auf einem einheitlichen Niveau. In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass die Matratzenhaltung eine höhere Ammoniakbelastung im Stall verursacht. Den Untersuchungsergebnissen von EUBEL (2004) zu Folge werden in den Betrieben, die diese Matratzenhaltung praktizieren, deutlich höhere Ammoniakwerte (bis 14 ppm) festgestellt. Bei vorliegenden Untersuchungen wird jedoch beobachtet, dass eine zweiwöchige Mistmatratze keinen negativen Einfluss auf die Ammoniakkonzentration im Pferd stall hat.

### 3.2 Schwebstaubkonzentrationen

In dem gesamten Versuchszeitraum von acht Wochen beträgt die mittlere Schwebstaubkonzentration  $109,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit einer Standardabweichung von  $134,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der höchste gemessene Halbstundenmittelwert im gesamten Versuchszeitraum beträgt  $1736,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , und liegt sehr weit unter dem in der Literatur angegebenen Grenzwert für eine dauerhafte Feinstaubbelastung ( $< 10 \mu\text{m}$ ) im Pferd stall von  $4 \text{mg}/\text{m}^3$  (BAUER et al., 2004). Die hinsichtlich des genannten Grenzwertes relativ niedrigen Schwebstaubkonzentrationen der vorliegenden Untersuchungen könnten dadurch begründet werden, dass die Stallhöhe und der Luftraum pro Pferd großzügig bemessen sind und durch eine reichliche Anzahl von Fenster und große Türen eine ausreichende Frischluftversorgung gewährleistet ist. Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Schwebstaubkonzentration im Tagesverlauf ist ein starker Konzentrationsanstieg ab 7.30 Uhr bis 10.00 Uhr festzustellen. Zu dieser Zeit werden die morgendlichen Stallarbeiten durchgeführt, die in diesem Zeitraum auftretenden Konzentrationspeaks konnten dem Zeitpunkt des Stroheinstreuens zugeordnet werden. Weitere schwache Peaks werden während der Mittags- und Abendfütterungen festgestellt. Zwischen diesen drei Anstiegen verbleiben die Staubkonzentrationen gleichmäßig auf einem niedrigen Niveau.

Der Effekt des Öffnen der Fenster wird in Abhängigkeit von der Tageszeit in Abbildung 2 dargestellt. Ein hoch signifikanter Unterschied zwischen geöffneten und geschlossenen Fenstern wird in der Zeit von 8:00–11:30 Uhr, in der auch insgesamt die höchsten Werte gemessen werden, festgestellt. Bei geschlossenen Fenstern ( $\bar{x} = 277,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wird im Mittel eine um 50 % höhere Schwebstaubkonzentration festgestellt als bei geöffneten Boxenfentern ( $\bar{x} = 139,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). In den Zeiten von 12:00–15:30 Uhr und 16:00–19:30 Uhr unterscheiden sich die mittleren Schwebstaubkonzentrationen bei geöffneten bzw. geschlossenen Fenstern nicht signifikant voneinander.

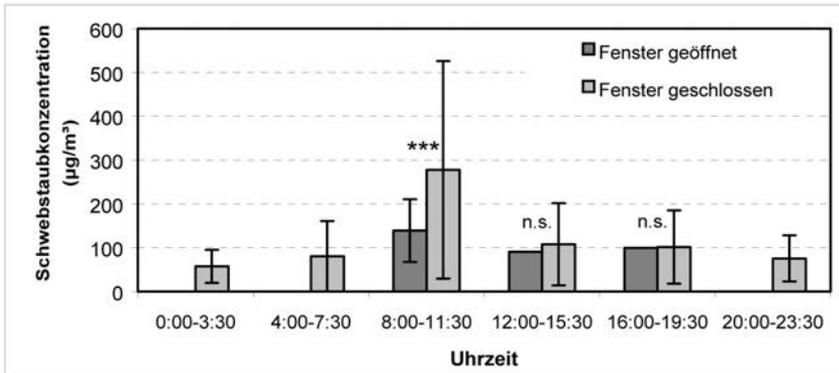


Abb. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwebstaubkonzentrationen in Abhängigkeit von dem Öffnen der Fenster und der Tageszeit. n. s., kein signifikanter Unterschied; \*\*\* signifikanter Unterschied ( $P \leq 0,001$ )

Neben Uhrzeit und dem Öffnen der Fenster hat das Mistintervall einen nachweisbaren Einfluss auf die Schwebstaubkonzentration im Pferdestall. Die deutlich höchsten Konzentrationen werden direkt nach dem Mistens festgestellt ( $\bar{x} = 190,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Die Schwebstaubkonzentrationen bleiben an den Tagen, an denen ausgemistet wird, den gesamten Vormittag auf einem extrem hohen Niveau sogar 24 Stunden nach dem Misten sind noch erhöhte Werte festzustellen. Verantwortlich für die stark erhöhten Schwebstaubkonzentrationen nach dem Ausmisten könnten zum einen die aufgewirbelten Partikel und Mikroorganismen aus der Mistmatratze sein und zum anderem die enorme Staubentwicklung, die aufgrund einer kompletten Neueinstreu der gesamten Boxen im Stall verursacht wird, erklärt werden.

#### 4 Literatur

BAUER, J.; GRÄNZER, W.; MEYER, K. (2004): Hygiene in der Pferdehaltung. [www.wzw.tum.de/th/lehre/tierhygiene2.skript/hygiene\\_pferd.html](http://www.wzw.tum.de/th/lehre/tierhygiene2.skript/hygiene_pferd.html) (30.7.2004).

BMVEL (1995): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. [www.verbraucherministerium.de](http://www.verbraucherministerium.de) (29.07.2004).

DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG/FN Warendorf: Jahresbericht 2003 [www.fn-dokr.de/isy.net/servlet/broadcast/jahresbericht\\_fakten.html](http://www.fn-dokr.de/isy.net/servlet/broadcast/jahresbericht_fakten.html) (30.8.2004).

EUBEL, J. (2004): Orientierende Untersuchungen zum Einfluss von Haltung, Hygiene und Luftqualität auf die Atemwegesundheit von Fohlen in vier deutschen Zuchtbetrieben. Diss. Tierärztl. Hochsch. Hannover.

KORRIES, O. (2003): Untersuchung pferdehaltender Betriebe in Niedersachsen. Bewertung unter dem Aspekt der Tiergerechtigkeit, bei Trennung in verschiedene Nutzungsgruppen und Beachtung haltungsbedingter Schäden. Diss. Tierärztl. Hochschule Hannover.

## Auswirkungen unterschiedlicher Kraftfuttermittelvorbereitungstechniken und -frequenzen auf die Herzfrequenzvariabilität und das Verhalten von Warmblutpferden

### *Effects of different concentrate feeding techniques on heart rate variability and behaviour of warmblood horses*

TORSTEN HOHMANN<sup>1</sup>, PETER KREIMEIER<sup>1</sup>, FRANZ-JOSEF BOCKISCH<sup>1</sup>, WILLA BOHNET<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Institut für Tierschutz und Verhalten, Tierschutzzentrum, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Bünteweg 2, D-38559 Hannover

**Schlüsselwörter:** Kraftfuttermittelvorbereitung, Stress, Herzfrequenzvariabilität, Verhalten, Pferd  
**Keywords:** *Concentrate feeding, stress, heart rate variability, behaviour, horse*

### **Zusammenfassung**

*In der Pferdehaltung besteht bei der Haltung in Einzelboxensystemen bei manueller Futtervorbereitung, speziell bei Kraftfutter, häufig das Problem, dass die Pferde unruhig werden, einer Verletzungsgefahr ausgesetzt sind und Stress erzeugt wird, da das Futter nicht zeitgleich verabreicht wird.*

*In diesem Projekt wird eine Verhaltensanalyse mit einer Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV) verknüpft, um eine mögliche Stressbelastung während der Kraftfuttermittelvorbereitung anhand verschiedener Futterapplikationstechniken quantifizieren zu können.*

*Es wurde eine Stressbelastung während der Wartezeit nach Beginn der Kraftfuttermittelvorbereitung festgestellt. Diese Belastung erhöhte sich, je länger die Wartezeit andauerte.*

### **Summary**

*Manual concentrate feeding in single housing horsekeeping systems often results in restlessness, an increased risk of injuries and stress for the animals, because forage cannot be supplied to all horses at the same time.*

*This work combines an analysis of behaviour with an analysis of HRV in order to eventually quantify a stress load during concentrate feeding by different application techniques.*

*A stress load could be verified during the waiting period after feeding has started. Longer waiting periods resulted in a higher load.*

## 1 Einleitung und Problemstellung

Gegenwärtig werden Pferde in herkömmlicher Haltung zwei- bis dreimal am Tag mit Kraftfutter und ein- bis zweimal mit Raufutter gefüttert. Die Verabreichung des Futters erfolgt fast ausschließlich per Hand. In großen Stallgebäuden mit einer entsprechend hohen Anzahl von Boxen entstehen dadurch relativ lange Wartezeiten für die einzelnen Tiere. Die Pferde zeigen eine dementsprechende Erwartungshaltung, sobald die Fütterung beginnt. Besonders ausgeprägt ist dieses Verhalten bei ranghöheren Tieren.

In diesem Projekt wird eine Verhaltensanalyse mit einer Analyse der HRV verknüpft, um eine mögliche Stressbelastung quantifizieren zu können. Die Analyse der HRV ist eine nicht-invasive, objektive Möglichkeit, bei Tieren Stress bzw. Stressempfinden qualitativ und quantitativ zu messen und liefert indirekt eine Aussage über das sympathovagale Gleichgewicht der Tiere. Der Vagustonus dient hierbei als Stressindikator. Die gleichzeitig per Videoüberwachung aufgenommenen Verhaltensweisen der Pferde können so mit dem Vagustonus in Zusammenhang gebracht werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchseinrichtung und Probanden

Für das Forschungsvorhaben werden sechs zwei- bis dreijährige deutsche Warmblutpferde in Einzelboxen mit Auslauf in einem Versuchsgebäude des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung auf der Versuchsstation der FAL Braunschweig gehalten. Die Pferde stammen aus der Hannoverschen Zucht und werden für das Forschungsvorhaben von ihren Züchtern zur Verfügung gestellt.

### 2.2 Untersuchungstechnik und -methoden

Es werden Herzfrequenzmessgeräte für Pferde von der Firma Polar (Typ Polar Equine S810i) benutzt. Die Geräte werden an herkömmlichen elastischen Deckengurten befestigt. Das Videosystem besteht aus 4 Kameras (Ganz Farbkamera ZC-Y30PH), einem Multiplexer (Digital Multiplexer) und einem Personalcomputer. Es werden die Mittags- und Abendfütterung digital aufgezeichnet und gesichert. Die Kraftfutterdosierer sind die „Kraftfutter-Dosierbehälter“ der Firma Weinsberger. Jeder Fressplatz ist mit einem Dosierer ausgestattet. Die Kraftfuttervorlage wird zeitgesteuert und erfolgt an allen Fressplätzen gleichzeitig. Mittels der Herzfrequenzmessgeräte werden sämtliche Interbeat-Intervalle (IBI) EKG-genau aufgezeichnet. Die IBIs dienen als Rechengrundlage für folgende mathematische Parameter der HRV:

Parameter der Frequenzanalyse (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology):

- LF-Power (Low-Frequency-Power); Leistungsdichtespektrum von 0,01 bis 0,07 Hz; Einheit: normalized units [n. u.] (Prozentualer Anteil der LF-Power an der Gesamtpower ohne Berücksichtigung der Very-Low-Frequency-Power).

- HF-Power (High-Frequency-Power); Leistungsdichtespektrum von 0,07 bis 0,6 Hz; Einheit: normalized units [n. u.] (Prozentualer Anteil der HF-Power an der Gesamtpower ohne Berücksichtigung der Very-Low-Frequency-Power).

Die LF-Power reflektiert sowohl sympathische wie parasympathische Aktivitäten, wogegen die HF-Power ausschließlich dem Parasympathikus entspricht, das heißt, eine erhöhte HF-Power entspricht einem erhöhtem Vagustonus (KUWAHARA, 1996). Ein reduzierter Vagustonus ist Ausdruck einer Stressbelastung psychischer oder physischer Natur (PORGES, 1995).

Per Videoüberwachung werden die gezeigten Verhaltensäußerungen der Pferde festgehalten und in Bezug zu den jeweiligen Werten der Analyse der Herzfrequenzvariabilität gesetzt. Die Verhaltensweisen werden in Grund- und Zusatzaktivitäten eingeordnet. Die Grundaktivitäten beinhalten Fressen, Trinken, Stehen und Liegen; die Zusatzaktivitäten beschreiben typische Verhaltensweisen, die Pferde während einer Kraftfuttermahlzeit zeigen, wie z. B. Scharren, Boxenlaufen, etc. Es erfolgt eine qualitative und quantitative Auswertung der Videoaufzeichnungen mittels der Software „Interact, Version 7.0 by Mangold Software“.

### 3 Versuchsdesign

Der Versuch startet nach einer Eingewöhnungszeit von zwei Wochen, in der sich die Pferde mit der Haltungsumgebung, den Kontaktpersonen und den Herzfrequenzmessgeräten vertraut machen sollen.

In der zweiwöchigen ersten Variante bekommen die Pferde ihre Kraftfütterration auf 10 Mahlzeiten verteilt. Jedes Pferd hat seinen eigenen Futterplatz. In der ebenfalls zweiwöchigen Variante 2 wird die Kraftfütterration nur noch auf drei Mahlzeiten am Tag verteilt. In den Varianten 1 und 2 erfolgt die Futtermahlzeit durch die zeitgesteuerten automatischen Kraftfütterdosierer bei allen Pferden gleichzeitig.

In der sechswöchigen dritten Variante werden die Pferde per Hand gefüttert. Diese Variante dauert im Gegensatz zu den anderen Varianten sechsmal so lang, da sie aus sechs Fütterungssituationen besteht. Die Futtermahlzeit erfolgt nun zeitversetzt, d. h. das erste Pferd bekommt sofort sein Futter, das zweite eine halbe Minute später. Das dritte, vierte, fünfte und sechste Pferd bekommt das Futter also 1; 1,5; 2; 2,5 bzw. 3 Minute(n) nach Fütterungsbeginn vorgelegt. Die Reihenfolge der Futtermahlzeit rotiert von Fütterung zu Fütterung, so dass keine Gewöhnungseffekte eintreten. Diese Versuchsanordnung simuliert die übliche Fütterungssituation, die in der Praxis auf langen Stallgassen mit ca. 20–30 Pferden entsteht.

Im Anschluss daran werden die Pferde für Wiederholungsversuche ausgetauscht. Es werden 3 Wiederholungen des Versuchs mit insgesamt 24 Pferden durchgeführt.

Aufgrund der morgendlichen Unruhe durch Stallarbeiten (Traktor, Auffüllen der Kraftfütterautomaten, etc.) werden die Messungen bei der Mittags- bzw. Abendfütterung durchgeführt. Pro Pferd und Versuchszyklus sind 80 Messungen geplant. Das Verhalten der einzelnen Pferde wird zu den Fütterungszeiten durch mehrere Videokameras mit integrierter Zeitmessung aufgezeichnet. Zur Auswertung werden nur die Werte herangezogen, die 5 Minuten vor bis 10 Minuten nach der Kraftfüttergabe aufgezeichnet wurden, so dass der Fütterungsvorgang in ein 15-Minuten-Zeitfenster eingebettet ist. Dies ist erforderlich, da bei der Auswertung der HRV nur Abschnitte von gleicher Dauer verglichen werden dürfen und der gesamte Fressvorgang in die Messung mit einbezogen wird. Durch die unterschiedlich langen Fresszeiten

der einzelnen Pferde könnte die Bedingung der stets gleichen Zeitdauer ohne das Zeitfenster nicht erfüllt werden.

## 4 Ergebnisse

Da die laufenden Versuche noch nicht abgeschlossen sind, handelt es sich bei den folgenden Ergebnissen um Fallbeispiele. Statistisch gesicherte Ergebnisse können zu diesem Zeitpunkt noch nicht präsentiert werden.

In der ersten und zweiten Variante konnten keinerlei Verhaltensweisen beobachtet werden, die auf eine Erwartungshaltung schließen lassen. In der dritten Variante dagegen zeigte der Proband deutlich eine Erwartungshaltung bei der Kraftfuttermahlzeit mit Scharren, Drohen zum Boxennachbarn, aufmerksamem Verharren oder vereinzelt mit „Boxenlaufen“. Nachdem das Kraftfutter vorgelegt wurde, zeigte der Proband diese Verhaltensaktivitäten nicht mehr. Es wurden bei den Fütterungen nicht immer die gleichen Verhaltensweisen gezeigt, bzw. der Ausprägungsgrad war von Fütterung zu Fütterung verschieden. Bei der Analyse der HRV konnten deutliche Unterschiede bezüglich der LF/HF-Power Verteilung während der verschiedenen Fütterungssituationen beobachtet werden (Abb. 1).

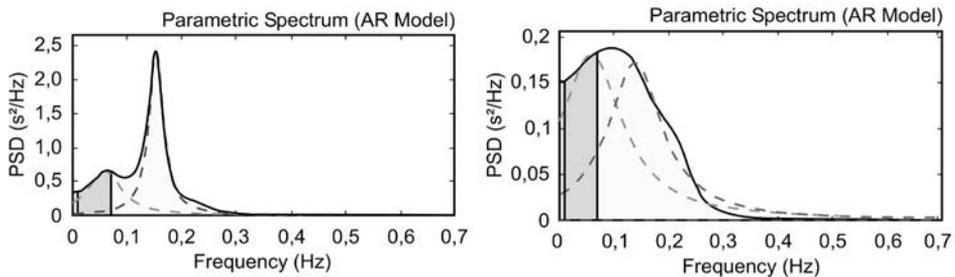


Abb.1: PSD (Power Spectral Density) in Abhängigkeit von der Herzfrequenz bei der KF-Vorlage ohne Wartezeit (links) und mit Wartezeit (rechts) bei einer 2jährigen Warmblutstute  
*PSD (Power Spectral Density) related to heart rate for delayed (left) and direct concentrate handling (right) for a 2 years warmblood mare*

Der Anteil der High-Frequency-Power an der Gesamtkraft lag im Durchschnitt bei Variante 1 bei 48,00 n. u. (Abb. 2), bei der zweiten Variante lag der Anteil bei 47,85 n. u. Bei der dritten Variante lag der Durchschnitt deutlich niedriger bei 40,08 n. u. Wenn das Pferd an erster Stelle sein Kraftfutter bekam, änderte sich der Durchschnitt nur unwesentlich im Vergleich zu den ersten beiden Varianten (48,54 n. u.).

Wenn das Pferd aber an sechster Stelle gefüttert wurde, d. h. 2,5 Minuten nach Beginn der Fütterung warten musste, sank der Anteil der High-Frequency-Power auf 33,94 n. u.. Weiterhin war zu beobachten, dass mit deutlichen Verhaltensäußerungen eine deutliche Absenkung der parasympathischen Aktivität einhergeht. Andererseits kam es auch teilweise bei dem „aufmerksamen Verharren“ zu einem verminderten Vagustonus.

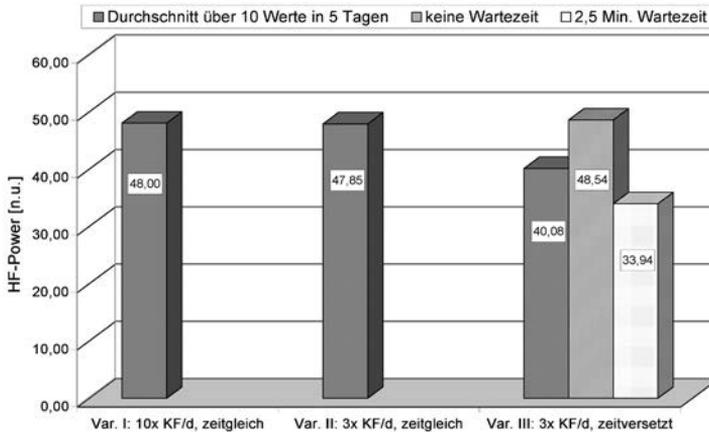


Abb. 2: Durchschnittliche HF-Power einer 2jährigen Warmblutstute während der KF-Vorlage  
*Average High Frequency-Power of a 2 years old warmblood mare during concentrate handing*

## 5 Diskussion

Über die automatisierte Fütterung von Pferden wurden bislang etliche Untersuchungen durchgeführt. Diese konzentrierten sich allerdings hauptsächlich auf die Praktikabilität der Füttereinrichtungen, bzw. auf das dementsprechende Verhalten der Pferde in Gruppenhaltung. Ein nicht außer Acht zu lassender Vorteil der Futterautomaten gegenüber der Futtervorlage per Hand ist, neben der Zeitersparnis für das Personal und der aus ernährungsphysiologischer Sicht günstigeren mehrmaligen Kraftfuttergabe, die synchrone Fütterung, durch die keine Unruhe während einer Wartezeit entsteht. HIMSTEDT und BOSLER (1992) stellten nach der Einführung von Kraftfutterautomaten in ihrer Pferdeklinik fest, dass die häufigen, kontinuierlich sich wiederholenden Kraftfuttergaben eine Stressreduzierung bei sehr viel größerer Ruhe im Stall, sowie einen Abbau der bei einem Klinikaufenthalt gefürchteten Faktorenkrankheiten bewirkte.

Mit herkömmlichen Verhaltensanalysen ist es sehr schwierig, das Stressempfinden bei Pferden zu quantifizieren. Um eine mögliche Stressbelastung während der bei traditioneller Kraftfuttervorlage per Hand entstehenden Wartezeit zu bestimmen, bietet sich die Analyse der Herzfrequenzvariabilität durch ihre Objektivität und Nicht-Invasivität an.

Über diverse mathematische Parameter der HRV ist es möglich, eine Aussage über das sympathovagale Gleichgewicht zu treffen. PAGANI et al. (1991) und PORGES (1995) haben herausgefunden, dass beim Menschen in Stresssituationen der Vagustonus deutlich abnimmt bzw. dass eine sympathische Dominanz vorliegt, ohne dass eine lokomotorische Aktivität erfolgt.

Unter den eigenen bisherigen Ergebnissen ist herauszuheben, dass sich die Werte der HRV-Analyse und der Verhaltensanalyse nicht signifikant unterscheiden, wenn der Proband gleichzeitig mit seinen Stallgenossen (automatisierte Fütterung) bzw. als Erster (Handfütterung) das Kraftfutter vorgelegt bekommt. Muss der Proband allerdings nach Beginn der Fütterung in der Stalleinheit auf sein Futter warten, kommt es zu einer Absenkung der parasympathischen Aktivität. In dem vorliegenden Fallbeispiel bei einer Wartezeit von 2,5 Minuten um ca. 30 %

(Abb. 2). Der verminderte Vagustonus deutet auf eine nicht zu unterschätzende Stressbelastung hin, vor allem vor dem Hintergrund, dass ein Pferd viele Jahre in derselben Box steht, bzw. tagein/tagaus immer auf sein Kraftfutter warten muss. Die Stressbelastung ist nicht so groß, dass das Pferd erkranken könnte, aber sicherlich groß genug, um die Anfälligkeit des Pferdes gegenüber Krankheiten zu erhöhen und somit seine Leistungsfähigkeit negativ zu beeinträchtigen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Kraftfuttermittelvorgabefrequenz keinerlei Einfluss auf das Verhalten zu haben scheint, bzw. es deutet sich an, dass von der Frequenz keine Stressbelastung für die Tiere ausgeht. Entscheidend ist, dass alle Tiere einer Stalleinheit gleichzeitig oder nur mit geringfügigen Wartezeiten ihr Kraftfutter vorgelegt bekommen. Also zeigen die Ergebnisse aus der dritten Variante, dass eine längere Wartezeit bei der Kraftfuttermittelvorgabe per Hand mit einer erhöhten Stressbelastung für Pferde einhergeht. Besonders hervorzuheben ist die Erkenntnis, dass eine durch die Herzfrequenzvariabilitätsanalyse ermittelte Stressbelastung nicht immer mit deutlichen Verhaltensäußerungen wie Scharren, Drohen, etc. in Verbindung gebracht werden kann.

Für die Praxis bedeutet das, dass die automatisierte Kraftfuttermittelvorgabe im Vergleich zur Handfütterung nur stressreduzierter für die Pferde ist, wenn alle Pferde gleichzeitig ihr Futter vorgelegt bekommen.

Wie schon am Anfang erwähnt müssen diese Schlussfolgerungen erst statistisch abgesichert werden, um verlässliche Aussagen zu liefern.

## 6 Literatur

HIMSTEDT, R.; BOSLER, K. (1992): Neuartige Futterautomaten für Pferde. *Veterinär- Spiegel* 4/1992, S.58–59.

KUWAHARA, M.; HASHIMOTO, S.; ISHII, K.; YAGI, Y.; HADA, T.; HIRAGA, A.; KAI, M.; KUBO, K.; OKI, H.; TSUBONE, H.; SUGANO, S. (1996): Assessment of autonomic nervous function by power spectral analysis of heart rate variability in the horse. *J Auton Nerv Syst.* 60(1–2), 43–48.

PAGANI, M.; RIMOLDI, O.; PIZZINELLI, P.; FURLAN, R.; CRIVELLARO, W.; LIBERATI, D.; CERUTTI, S.; MALLIANI, A. (1995): Assessment of the neural control of the circulation during psychological stress. *J Auton Nerv Syst.* 35(1), 33–41.

PORGES, S. W. 1995): Cardiac vagal tone: a physiological index of stress. *NeuroSci Biobehav Rev* 19(2), 225–233.

TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY (1996): Heart Rate Variability. *Circulation*, 1043–1065.

# Vergleich von Pferdehaltungssystemen in Bezug auf die Nutzung der Funktionsbereiche

## *Comparison of horse husbandry systems with regard to use of functional areas*

PETER KREIMEIER<sup>1</sup>, DANIELA KIPP<sup>1</sup>, FRANZ-JOSEF BOCKISCH<sup>1</sup>, MARTINA GERKEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Arbeitsgruppe Ökologie der Nutztierhaltung, Georg-August-Universität Göttingen, Universitätsstr. 7, D-49377 Vechta

**Schlüsselwörter:** Auslaufhaltung, Einzelboxenhaltung, Gruppenhaltung, Paddock, Ausscheidungsverhalten  
**Keywords:** *Free range management, single box management, group husbandry, paddock, excretion behaviour*

### **Zusammenfassung**

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es Aufschluss darüber zu geben, wie Hannoveranerstuten die jeweiligen Funktionsbereiche verschiedener Ausprägungen von Auslaufhaltungssystemen, einzeln und in der Gruppe, nutzen.

Im Hinblick auf die Bewegungsaktivität nimmt das Stehen gegenüber der Fortbewegung und des Liegens den größten Anteil an. Die Gruppenhaltung erfüllt das Bewegungsbedürfnis und den Sozialkontakt am ehesten. Der Aufenthalt im überdachten Bereich, Boxen bzw. Fressbereich und Liegebereich überwiegt im Vergleich zur Nutzung des Auslaufes. Hinsichtlich des Ausscheidungsverhaltens wurde über alle Versuchsvarianten tendenziell festgestellt, dass die Pferde hauptsächlich in den Boxen und im vorderen Teil des Paddocks koten sowie im eingestreuten Bereich harnen.

### **Summary**

The goal of the present study is to provide information on how Hanoverian mares use the functional areas of different types of free range management systems individually and in a group.

With regard to movement, standing is preferred to locomotion and lying behaviour. Group husbandry best fulfils the movement and social contact needs of the horses. A stay in a roofed area, boxes or the feeding and lying areas is preferred in comparison to use of the free range. In regard to the excretion behaviour it was established with a tendency, that in all husbandry variations the horses set down the most faeces in the boxes and in the front part of the paddocks; the urinating activity was mainly in the littered part of the husbandry system.

## 1 Einleitung

Laut Jahresbericht 2003 der FN gibt es in Deutschland bis zu einer Million Pferde. Ein Großteil der Pferde wird unabhängig von seiner Nutzung, sei es Turnierpferd oder Freizeitpferd, in Einzelboxen ohne freien Zugang zum Auslauf gehalten. Das überwiegende Angebot von Unterbringungsmöglichkeiten ist nicht orientiert an den Bedürfnissen der Pferde, sondern an den Ansprüchen des Menschen. Umgesetzt wird das in der Praxis durch die Standardhaltungsform Einzelbox (9 m<sup>2</sup>) ohne freien Zugang zu einem Auslauf, der die Ansprüche an eine tiergerechte Haltung nicht erfüllt.

Folgen sind Erkrankungen des Bewegungsapparates und der Atemwegsorgane sowie Verhaltensstörungen. Pferde benötigen mehrstündige freie Bewegung, frische Luft, ein über den Tag verteiltes Nahrungsangebot sowie den Sozialkontakt zu Artgenossen. Die Auslaufhaltung von Gruppen kommt der Forderung nach tiergerechten Haltungsbedingungen sehr nahe.

## 2 Problemstellung und Zielsetzung

In der Praxis ist ein deutlicher Trend nach tiergerechteren Haltungssystemen zu verzeichnen. Die Auslaufhaltung in Gruppen erfreut sich in erster Linie bei den Freizeitreitern steigender Beliebtheit. Die Einzelboxenhaltung mit direktem Zugang zum Auslauf stellt auch für im Sport genutzte Hochleistungspferde bzw. Turnierreiter eine Alternative dar.

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden verschiedene Ausprägungen der Auslaufhaltung im Hinblick auf die Nutzung der Funktionsbereiche untersucht. Zudem sollten aufgrund von Ortswechselln Rückschlüsse auf die Bewegungsaktivität der Pferde gezogen werden. Auch das Ausscheidungsverhalten sowie der Ort sollten für weitere Versuchsfragestellungen neue Erkenntnisse im Hinblick auf eine Kontamination von Boden und Sickerwasser liefern. Diese Erkenntnisse sollen bei der praktischen Umsetzung mit zur Verbesserung der Auslaufhaltung von Pferden beitragen.

## 3 Versuchsvarianten, Tiere, Material, Methoden und Versuchsdurchführung

In die Untersuchung wurden vier Varianten einbezogen. In der ersten Variante wurde eine Einzelboxenhaltung mit Einzelauslauf (EH) umgesetzt. Die zweite Variante, im folgenden Zweierhaltung (ZH) genannt, ist durch einen gemeinsam genutzten Auslauf und zwei Einzelboxen gekennzeichnet. Die dritte Variante ist eine Kleingruppenhaltung mit zwei Pferden (KG). Hier wurde zusätzlich jeweils die Trennwand zwischen zwei benachbarten Einzelboxen ausgebaut. In dieser Versuchsvariante konnten nur drei Tage aus der Eingewöhnungszeit zur Auswertung genutzt werden, da sie aufgrund einer unzureichenden Futteraufnahme von zwei Pferden nach fünf Tagen eingestellt werden musste. In der vierten Variante wurden alle sechs Versuchspferde in eine Gruppe (GH) integriert und im zweiten Stallabteil aufgestellt.

In die Untersuchungen wurden sechs der zwölf Hannoveraner Zuchtstuten einbezogen, die zwischen zwei und neun Jahren alt waren. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren alle Stuten tragend.

Der Versuchspferdestall ist in zwei Abteile unterteilt (Abb. 1); im ersten befinden sich sechs Einzelboxen mit einem direkt angeschlossenen Auslauf, der in drei Segmente unterteilt ist, so dass je zwei Pferde einen gemeinsamen Auslauf haben, er kann von beiden Tieren zeitgleich genutzt werden.

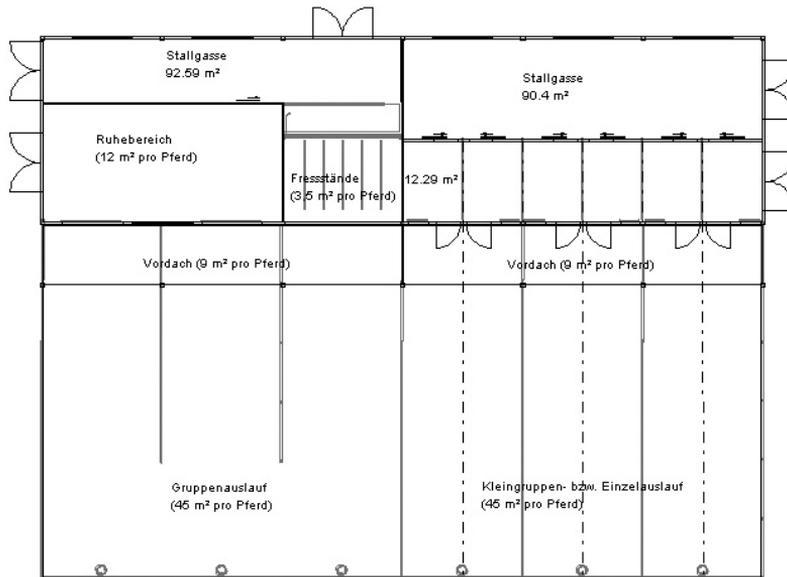


Abb. 1: Grundriss des Versuchsgebäudes

Für Versuchszwecke kann der Auslauf längs unterteilt werden, um eine Einzelboxenhaltung mit Einzelauslauf zu simulieren. In diesem Fall stehen jedem Pferd eine Box (12 m<sup>2</sup>), ein überdachter, mit Verbundpflaster versehener Vorplatz (9 m<sup>2</sup>) und ein angrenzender Paddock (45 m<sup>2</sup>) zur Verfügung. In der mit Stroh eingestreuten Box befinden sich in einer Ecke eine Rohnippeltränke und in der gegenüberliegenden Ecke ein Kraffuttertrog, daneben der Salzleckstein. Die Boxentür ist mit einem Heudosierer ausgestattet. Eine Außentränke ist am Kopfende des Sandpaddocks genau in der Mitte zwischen den zwei Einzelpaddocks installiert.

Im zweiten Stallabteil wird eine Gruppenhaltung mit sechs Pferden praktiziert. Dieses ist in einen Ruhebereich und einen Fressbereich gegliedert, welche über einen Auslauf miteinander verbunden sind. Einen zusätzlichen Funktionsbereich stellt der überdachte Vorplatz dar, der sich über die gesamte Stalllänge erstreckt. Der frei zugängliche Auslauf ist durch zwei Zäune, die als Raumteiler fungieren, strukturiert.

Am Kopfende des Paddocks sind drei Tränken im Abstand von 6 m installiert. Im Fressbereich befinden sich sechs Fressstände, die jeweils mit einem Heu- und Kraffutterdosierer versehen sind. Zusätzlich gehören zur Versuchsanlage ein Auslauf von 3.000 m<sup>2</sup> und eine Weide von 6.250 m<sup>2</sup>.

Je Versuchsvariante wurden jeweils drei Tage – aus den kontinuierlich erfassten Video-Aufzeichnungen – aus dem 2-wöchigen Versuchszeitraum ausgewertet. Zur Auswertung kamen Versuchstage, die mitten in der Woche lagen. So konnten Einflüsse auf das Verhalten der Pferde vom Wochenende, wo kein Weidegang angeboten wurde, ausgeschlossen werden.

Von den drei auszuwertenden Tagen je Versuchsvariante wurden 22 Stunden pro Tag im Continuous-Recording-Verfahren ausgewertet. Während der Restzeit von zwei Stunden waren die Pferde auf der Weide.

Während des Weidegangs wurde das Ausscheidungsverhalten der Versuchspferde direkt beobachtet und registriert.

Die Kontrolle der Futteraufnahme erfolgte durch Abwiegen der Tagesration und Rückwiegen am folgenden Tag. Die tierindividuelle Futteraufnahme konnte nur in der Einzelhaltung (EH; Var. I) ermittelt werden. Ansonsten wurde die Futteraufnahme der einzelnen Gruppen festgehalten.

Die Aufzeichnung der relativen Luftfeuchte und Temperatur erfolgte über Tinytags im Paddockbereich und innerhalb der Stallabteile. Zusätzlich wurden Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer je Tag vom Deutschen Wetterdienst auf dem FAL-Gelände erfasst.

Im Juli 2003 (21.07–03.08.) wurden die Versuche mit sechs Stuten in Variante I (EH) durchgeführt. Im August 2003 (04.08.–24.08.) wurden die sechs Stuten in Variante II (ZH) beobachtet. Abschließend wurden im Oktober 2003 (13.10.–02.11.) die sechs Stuten in Variante IV (GH) gehalten und untersucht.

Die gesamte Versuchsdauer enthält für jeden Versuchsdurchgang eine Woche Eingewöhnungszeit. Vor dem ersten Versuch sowie nach Umstallung in die Gruppenhaltung war die Eingewöhnungszeit um je zwei Wochen verlängert.

In allen Varianten erfolgt die Futtervorlage automatisch. Zwei Mal täglich (morgens um 7:00 Uhr und abends um 18:30 Uhr) wird jeweils 1 kg Hafer mit einem Krafftutter-Dosierautomaten gefüttert. Die Heulagefütterung erfolgt über einen per Computer Zeit gesteuerten Heudosierer. Hierbei steht den Stuten pro Tag eine Gesamtfresszeit von 350 Minuten zur Verfügung, die auf 10 Fresszeiten à 35 Minuten aufgeteilt sind. Die Fresszeit um 9:30 Uhr können die Pferde nur am Wochenende nutzen, da sie in der Woche um diese Zeit auf der Weide sind.

#### 4 Ausgewählte Ergebnisse

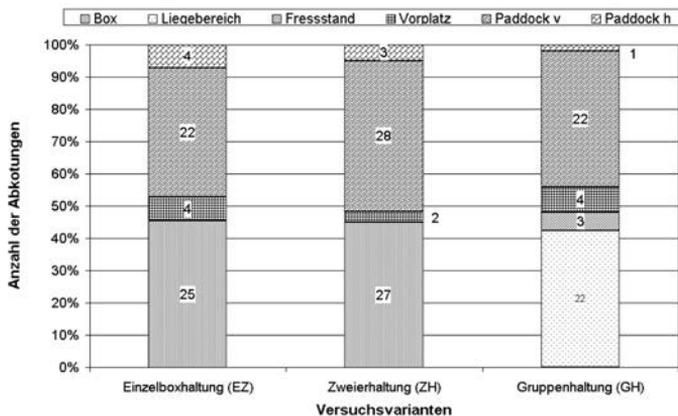


Abb. 2: Verteilung der Abkotvorgänge in den verschiedenen Funktionsbereichen; die Zahl in bzw. neben den Säulenabschnitten ist die absolute Zahl der jeweiligen Abkotvorgänge

Allen Varianten ist gemeinsam, dass das Abkoten überwiegend in den Funktionsbereichen Box, Liegebereich, Fressstand und im vorderen Bereich des Paddocks stattfindet (Abb. 2).

Das Harnlassen ist, wie erwartet, zum größten Teil im eingestreuten Bereich (Box und Liegebereich) zu beobachten; so fand dies bei EH zu 90 % und in ZH zu 87 % in der Box statt; in GH waren 79 % der Harnvorgänge im Liegebereich zu beobachten (Abb. 3).

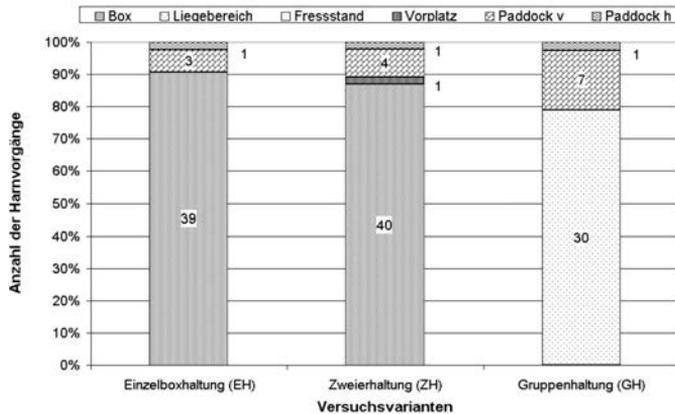


Abb. 3: Verteilung der Harnvorgänge in den verschiedenen Funktionsbereichen; die Zahl in bzw. neben den Säulenabschnitten ist die absolute Zahl der jeweiligen Harnvorgänge

## 5 Diskussion und Schlussfolgerung

In allen Varianten ist der Anteil des Stehens gegenüber der Fortbewegung und des Liegens am größten. In Bezug auf das Bewegungs- und Ruheverhalten kommt die Zweierhaltung (Var. II) den natürlichen Ansprüchen der Pferde am ehesten entgegen. Trotz der häufigen Verdrängungen sind das Nahrungsaufnahmeverhalten und die aufgenommene Futtermenge positiv zu bewerten. Die Gruppenhaltung mit Auslauf kommt dem Bewegungsbedürfnis der Pferde am ehesten entgegen; problematisch ist jedoch der Rückgang der Liegezeiten gegenüber den anderen Varianten. Hinsichtlich des Ausscheidungsverhaltens wurde über alle Versuchsvarianten tendenziell festgestellt, dass die Pferde hauptsächlich in den Boxen und im vorderen Teil des Paddocks koten. Das Harnen findet überwiegend in der eingestreuten Box bzw. im Liegebereich statt. Dies zeigt auf, dass in diesen Bereichen durch einfache bauliche Maßnahmen eine Sickerwasserkontamination im Auslauf vermieden werden kann und dass der „restliche Auslauf“ relativ großzügig – hinsichtlich der Flächenausstattung – ausgeführt werden kann.

## 6 Literatur

BOCKISCH, F.-J.; KREIMEIER, P., 2002: Aspekte zur Auslaufgestaltung in Pferdehaltungssystemen, Landtechnik 57 (6), 332–333.

BOCKISCH, F.-J.; KREIMEIER, P., 2001: Haltungssysteme für eine tier- und umweltgerechte Pferdehaltung, Pferdeland: Sonderausgabe 2001, 17–21.

BOCKISCH, F.-J.; PIOTROWSKI, J.; KREIMEIER, P., 1996: Untersuchungen zur tierangepaßten Freizeit-Pferdehaltung, Book of abstracts / Annual Meeting of the European Association for Animal Production 2.

FN (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG), 1992: Orientierungshilfen Reitanlagen und Stallbau, Warendorf, FN-Verlag der deutschen Reiterlichen Vereinigung GmbH.

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BMELF), Referat Tierschutz, 1998: Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltung unter Tierschutzgesichtspunkten.

PIOTROWSKI, J., 1988: Tiergerechte Pferdehaltung. Mehrraum-Pferdeauslaufhaltung mit individueller Vorratsfütterung, KTBL-Schrift Nr. 336, 150–162.

PIRKELMANN, H., 1993: Tierschutzgerechte Haltungssysteme für Pferde. In: Tierärztliche Umschau 48, 306–311.

SCHNITZER, U.; KOLTER, L., 1981: Auswirkungen des Sozialverhaltens der Pferde beim Stallbau, In: Aktuelle Aspekte der Ethologie in der Pferdehaltung, Wissenschaftliche Publikation 2, Warendorf, FN-Verlag der deutschen Reiterlichen Vereinigung GmbH.

ZEITLER-FEICHT, M., 2001: Handbuch Pferdeverhalten, Ursache, Therapie und Prophylaxe von Problemverhalten, Stuttgart, 1. Auflage, Verlag Eugen Ulmer.

## Luftkühlung in der Schweinemast mit Hilfe der Absorptionskältetechnik *Air cooling in the pig fattening with the help of absorption cold technology*

GÜNTER BEYERSDORFER<sup>1</sup>, MICHAEL MUSSLICK<sup>1</sup>, GERD REINHOLD<sup>1</sup>, UTE WANKA<sup>2</sup>,  
WERNER FROSCHE<sup>3</sup>, MANFRED PILZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Fachbereich Tierproduktion, Am Rennsteig 03, D-99819 Oberellen/Clausberg

<sup>2</sup> Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (SLL), Fachbereich Tierproduktion, Am Park 03, D-04886 Köllitzsch

<sup>3</sup> Martin Luther Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik, Ludwig-Wucherer-Str. 81, D-06108 Halle

<sup>4</sup> Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Jena, Prüssingstraße 25, D 07745 Jena

**Schlüsselwörter:** Klimatisierung, raumlufttechnische Anlagen

**Keywords:** Air conditioning, room air technological plants

### Zusammenfassung

*Für die Nutzung erneuerbarer Energien aus Biomasse, insbesondere zur Erzeugung von Biogas, sind gegenwärtig verschiedene Anlagenkonzepte unterschiedlicher Systemanbieter am Markt verfügbar. Nahezu alle diese Systeme sind dadurch gekennzeichnet, dass aus den Einsatzstoffen Biogas erzeugt wird, das zum Antrieb von Blockheizkraftwerk (BHKW)-Modulen dient. Die vom BHKW erzeugte Elektroenergie wird meist zu 100 % in das Netz des örtlichen Energieversorgers eingespeist. Eine Nutzung der bei dieser klassischen Kraft-Wärme-Kopplung gleichzeitig erzeugten Wärme ist jedoch nur in seltenen Fällen, z. B. zur saisonalen Beheizung von Werkstatt- und Verwaltungsgebäuden oder aber auch für die Beheizung von Stallanlagen möglich.*

*Das in diesem Projekt angestrebte Nutzungskonzept für die erzeugte Wärme basiert auf der Überlegung, diese Niedertemperaturwärme zum Antrieb einer Absorberkälteanlage zu verwenden. Damit kann die Wärme sowohl im Winter zur Beheizung als auch im Sommer zur Kühlung einer Schweinemastanlage verwendet werden.*

### Summary

*For the use various of renewable energies from biomass particularly for the production of biogas various plant concepts of different system suppliers are available on the market at present. Almost all these systems are indicated by it, that by use of substances biogas is produced which serves (BHKW) modules for the drive of block thermal power station. The electric energy produced by the BHKW is fed in most to 100 % into the net of the local energy supply company. A use of the warmth produced at the same time at this classic cogeneration of power and heat only is, however, in rare cases, e. g. to the seasonal heating of workshop and administrative buildings or else possible also for the heating of stable plants. Using the exploitation striven in this project for the produced warmth based for the drive of an absorber cold plant on the consideration, this low temperature warmth. The warmth can be used for the cooling of a pig mast plant both in winter to the heating and in summer with that.*

## 1 Parameter und ausgewählte Produktionsergebnisse der Biogasanlage in Rieth

Die in Rieth errichtete und im Juli 2002 in Betrieb genommene, landwirtschaftliche Biogasanlage zeichnet sich durch folgende Parameter aus:

- 800 m<sup>3</sup> Biogasreaktor in Stahlbauweise mit integriertem Gasspeicher
- 85 kW Gas-Otto-Motor zu Gasverwertung mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung zur Beheizung und Kühlung eines Schweinestalls.

Einsatzstoffe sind Rinder- und Schweinegülle sowie nachwachsende Rohstoffe. Nach einer kurzen Anlaufphase wurde in der Anlage relativ schnell eine mittlere Gaserzeugung zwischen 1.400 und 1.600 m<sup>3</sup>/d mit einer Reaktorbelastung von 2 bis 3 kg/m<sup>3</sup>d erreicht. Die Einsatzsubstrate und erzielten Produktionswerte sind in Tabelle 1 für zwei Perioden dargestellt.

Tab. 1: Substrateinsatz und Produktionsergebnisse in der Biogasanlage Rieth

Parameter	Einheit	01.08.–31.12.2002	01.01.–31.07.2003
<b>SUBSTRATEINSATZ</b>			
Rinder- u. Schweinegülle	m <sup>3</sup> /d	29,4	29,0
Maissilage	t/d	1,06	0,53
CCM	kg/d	175	198
Kleinkorn	kg/d	197	130
<b>PROZESSPARAMETER</b>			
Verweilzeit	Tage	26,5	28,0
Reaktortemperatur	°C	34,2	35,4
Reaktorbelastung	kg/m <sup>3</sup> d	2,77	2,48
<b>GASERTRÄGE</b>			
tägliche Biogasverbrauch	m <sup>3</sup> /d	1.350	1.316
Methangehalt	%	(64,5) <sup>1)</sup>	48,3
Biogasausbeute	m <sup>3</sup> /kg oTS	0,629	0,673
<b>BHKW</b>			
Laufzeit	h/d	21,0	22,4
Leistung	kW	79,9	79,6
Wirkungsgrad (elektrisch)	%	– <sup>1)</sup>	30,45 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> systematischer Messfehler bei der Methanmessung

<sup>2)</sup> auf Normbedingungen umgerechnet

In der Anlage in Rieth wurden innerhalb des ersten Betriebsjahres (01.08.2002 bis 31.07.2003) 480000 m<sup>3</sup> Biogas verstromt. Das 85 kW BHKW lief dazu 7750 Stunden mit einer Auslastung von 94 % der Nennleistung. Insgesamt folgt somit eine bemerkenswerte jährliche Auslastung der BHKW Nennleistung von 83 %. Da in der Anlage nur der Gasverbrauch vor dem BHKW gemessen wird, führen die notwendigen Ölwechsel (Intervall 300 Bh) zu scheinbaren Schwankungen in der Gaserzeugung (Abb. 1). In den Zeiten des Ölwechsels wird der im Reaktoroberteil integrierte Gasspeicher gefüllt, so dass kaum Gasverluste auftreten. Eine völlig konstante Gaserzeugung lässt sich aber nicht erreichen, da z. B. Reinigungsvorgänge usw. die Trockensubstanzgehalte der Gülle schwanken lassen. Durch Variation der eingesetzten Menge an Co-Substraten ist es aber gut möglich eine relativ konstante Biogaserzeugung zu erreichen. Die ist Voraussetzung für einen stabilen Betrieb des BHKW's im Nennlastbereich.

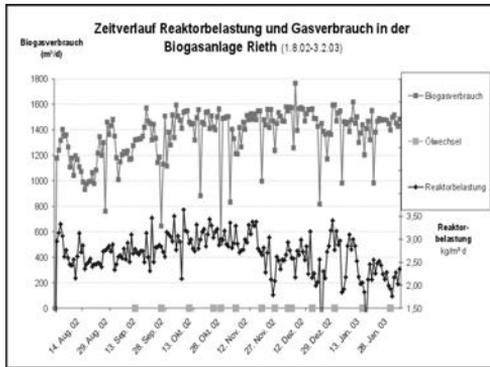


Abb. 1: Zeitverlauf Reaktorbelastung und Gasverbrauch in der Anlage Rieth

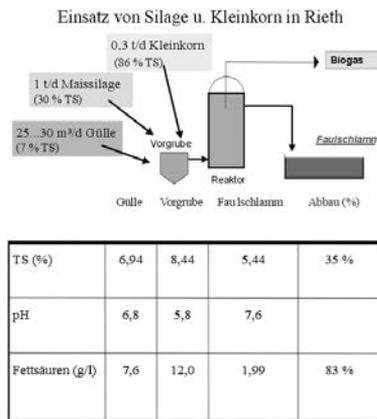


Abb. 2: Ergebnisse des Einsatzes von Silage und Kleinkorn in der Biogasanlage

Die Analyse der in der Biogasanlage entnommenen Gülleproben zeigen folgende Ergebnisse (Abb. 2):

- durch den Einsatz von Silage und Kleinkorn wird der TS-Gehalt im Mischsubstrat deutlich erhöht.
- Die Vorgrube wird in gewissen Grenzen als Vorsäuerungsstufe für den Biogasprozess genutzt, wie an der Absenkung des pH-Wertes von 6,8 auf 5,8 und dem Anstieg der flüchtigen Fettsäuren von 7,6 auf 12,0 g/l festzustellen ist.
- Während des Biogasprozesses wird der TS-Gehalt um ca. 35 % verringert und die flüchtigen Fettsäuren werden zu 83 % abgebaut. Der ermittelte TS-Abbau von 30 g/l entspricht üblichen Werten und lässt sich gut aus der Reduktion des Gehaltes an organischer Trockensubstanz (von 82,5 % auf 72,8 % ) erklären.
- Der Trockensubstanzabbau während der Fermentation erklärt sich vollständig aus dem Abbau an oTS (Abbauwerte 30 g/l). Theoretisch errechnet sich aus diesen Abbauwerten eine Biogasbildung von ca. 25 m<sup>3</sup> Biogas pro m<sup>3</sup> Gülle, woraus sich eine theoretische Gasbildung von ca. 780 m<sup>3</sup>/d errechnet. Die gemessene Biogasbildung betrug ca. 1.100 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/d. Dies zeigt, dass eine beträchtliche Gasmenge aus dem Fettsäureabbau gebildet wird.
- Weiterhin wurde eine Erhöhung des NH<sub>4</sub>-N Anteiles von ca. 40 % des N<sub>t</sub> auf 60 % des N<sub>t</sub> im Faulschlamm festgestellt.

## 2 Kraft-Wärme-Kältekopplung

Das in Rieth verwirklichte Nutzungskonzept für die erzeugte überschüssige Wärme basiert auf der Überlegung, diese Niedertemperaturwärme zum Antrieb einer Absorberkälteanlage zu verwenden. Damit kann die Wärme sowohl im Winter zur Beheizung als auch im Sommer zur Kühlung einer Schweinemastanlage verwendet werden.

## 3 Absorptionskälteanlage Wegracal SE

Die Absorptionskälteanlage vom Typ *Wegracal SE* wird mit Warmwasser im Temperaturbereich von 80 °C–90 °C betrieben. Die Funktionsweise beruht auf einem kontinuierlichen Absorptionsprozess mit dem Arbeitsstoffpaar Lithiumbromid/Wasser, der zur vereinfachten Darstellung in folgende Einzelschritte unterteilt werden kann (Abb. 3):

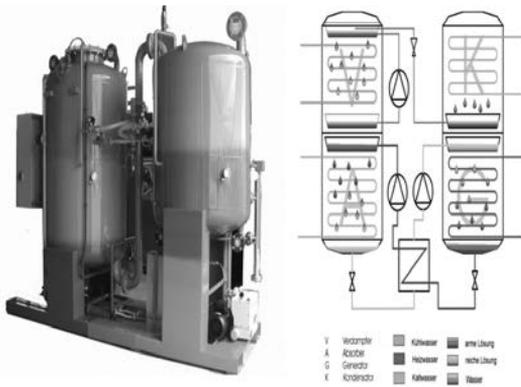


Abb. 3: Absorptionskälteanlage *Wegracal SE*

- Lösungspumpe:** Die den Absorber verlassende kältemittelreiche Lösung wird durch eine Pumpe abgesaugt. Diese Lösungsmenge wird durch einen Wärmetauscher zum Generator gefördert.
- Generator (G):** Die kältemittelreiche Lösung wird gleichmäßig über dem Generator verteilt. Durch die Zufuhr von Warmwasser wird aus der Lösung Kältemittel ausgedampft. Die nun wieder konzentrierte Lithiumbromid-Lösung wird mit einer Pumpe zurück zum Absorber gefördert.
- Kondensator (K):** Der im Generator ausgetriebene Kältemitteldampf strömt zum Kondensator und wird dort verflüssigt. Die dabei frei werdende Wärme wird an das Kühlwasser abgegeben. Das verflüssigte Kältemittel wird über eine Drossel entspannt und dem Verdampfer zugeführt.
- Verdampfer (V):** Das vom Kondensator kommende Kältemittel fließt zur Verdampferwanne. Dort wird es von einer Kältemittelpumpe angesaugt, nach oben in ein Berieselungssystem gepumpt und über den Verdampferrohren verteilt. Auf Grund des hohen Vakuums verdampft ein Teil des Kältemittels bereits bei sehr niedrigen Temperaturen. Die für die Verdampfung notwendige Wärme entzieht das Kältemittel dem in den Verdampferrohren fließenden Kaltwasser, welches sich dabei von 12 °C auf bis zu 6 °C abkühlt.

Absorber (A): Im Absorber wird der aus dem Verdampfer kommende Kältemitteldampf mit konzentrierter Lösung in Verbindung gebracht, wobei die Lösung ebenfalls mit einem Berieselungssystem fein verteilt wird. Bei diesem Vorgang wird der Kältemitteldampf von der Lösung absorbiert. Die dabei frei werdende Wärme wird durch das Kühlwasser aufgenommen und über ein Rückkühlwerk an die Umgebung abgegeben. Die entstehende kältemittelreiche Lösung sammelt sich im Sumpf des Absorbers und wird dort von der Lösungsmittelpumpe angesaugt.

Nachfolgend sollen Ergebnisse des Projektes aus einem zeitgleichen Vergleich in Kurzform dargestellt werden:

- Im Zeitraum Ende Mai bis Anfang September wurden 34 000 kWh Kälte im Schweinestall eingesetzt.

Die ständigen Temperaturmessungen mit einem Fühler im Außenbereich und in einem Mastteil ermöglichen eine Aussage zur Einsatzhäufigkeit der Kühlung und ihrer Wirksamkeit bei unterschiedlich hohen Außentemperaturen.

Die Kühlung wurde beispielsweise vom 28. Mai bis 3. September 2003 an 70 Tagen mit Außentemperaturen von mehr als 24 °C genutzt. Das entsprach einer durchschnittlichen Kältebereitstellung von 486 kWh je Tag bei unterschiedlichen Laufzeiten des Kälteabsorbers. Durchschnittlich wurden 10,5 Stunden der Kühlung (10:00 bis 20:30 Uhr) benötigt. Hier zeigte sich eindeutig, dass mit der herkömmlichen Lüftungssteuerung der Schweinemastabteile die Kühlung nicht effektiv zu nutzen ist. Bei den extremen Temperaturen im Sommer 2003 reichte eine Kaltwasseranforderung für die Wärmeaustauscher im Nachgang zur Außen- und Innentemperatur nicht aus, um bei Außentemperaturen über 35 °C nach 14:00 Uhr das Abteil noch bei 28 °C zu halten. Als positives Fazit kann geltend gemacht werden, dass die projektierten 6 °K Temperaturdifferenz in 90 % der Tage über 24 °C realisiert werden konnten (Bsp. Abb. 4).

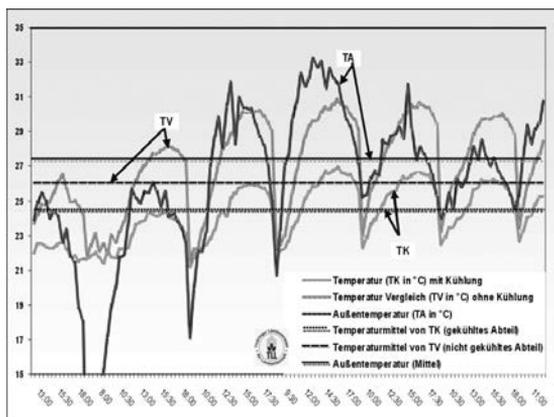


Abb. 4: Vergleich der Innenraumtemperatur im gekühlten (Versuch) und im nicht gekühlten (Kontrolle) Stallabteil (Auszug)

Bei extremer Geschwindigkeit der Erwärmung und anhaltend hohen Außentemperaturen ab 10:00 Uhr war die Kältekapazität ohne Vorgriffsteuerung nicht ausreichend. Für die effektive Nutzung der Kälte aus der Biogaswärmeenergie ist die Einbeziehung einer intelligenten Steuerung und eine weitere Erprobung notwendig, die die Erfassung der

tierischen Parameter im Vergleich einschließt. Während der höchsten Kühlanforderung darf es nicht zum Stillstand des BHKW z. B. durch Gasmangel kommen.

- Insgesamt ist festzustellen, dass der Kältespeicher nicht ausreichte, um die extremen Temperaturen (z. B. 2003) abzupuffern. Im Zeitraum von nur drei Stunden erhöhte sich die Temperatur im Kältespeicher um 5 K (von 8 °C auf 13 °C), so dass nicht die volle Kälteleistung genutzt werden konnte. Durch die Permanentmessung (Temperatur, Luftfeuchte) konnten Ablaufverhältnisse sichtbar gemacht werden.
- Ein weiteres Fazit nach einer Sommerlaufzeit ist aber auch, dass bei Nutzung der Absorberanlage eine optimale Motorkühlung erreicht wurde, ohne dass der Notkühler einschaltete.
- Die sinnvolle Wärmenutzung durch Liegeflächen- und Raumheizung nach Umstellungen wurde über alle Jahreszeiten genutzt.
- Erste Messungen zur Ammoniakemissionsrate in den Voruntersuchungen ergaben einen um 18 % geringeren NH<sub>3</sub> – Ausstoß im gekühlten Stallabteil (Tab. 2)

Tab. 2: Ammoniakemission im gekühlten und nicht gekühlten Schweinemastabteil

Voruntersuchungen Sep. 2003	Einheit	gekühltes Abteil ( $\Delta t_g = 26,2 \text{ °C}$ )	nicht gekühltes Abteil ( $\Delta t_{ng} = 26,2 \text{ °C}$ )
NH <sub>3</sub> Emissionsrate	g/h und Abteil	60,4	73,5
NH <sub>3</sub> Emissionsrate	kg/ TP und 70 Tage <sup>1)</sup>	0,35	0,43

<sup>1)</sup> kalkulatorischer Wert (Anzahl der Tage, in denen 2003 gekühlt wurde, d.h. Abteilstemperatur > 24 °C)

Die ermittelten Reduktionspotentiale entsprechen in ihrer Größenordnung den Literaturangaben von NI (1998) sowie SNELL und van den WEGHE (1999). Weitere Ergebnisse zur Ammoniakemission bzw. zur Korrelation zwischen Lüftungsrate und Ammoniakemission (CUMBY et al., 1995; HARTUNG und BÜSCHER, 1995; BÜSCHER 1995) konnten im Sommer des Jahres 2004 im direkten Vergleich von Mastabteilen mit und ohne Zuluftkühlung gewonnen werden. Für insgesamt 4 Mastdurchgänge konnten auch die tierischen Leistungen detailliert berücksichtigt werden.

Die Messergebnisse zur Olfaktometrie zeigten, dass bei den gekühlten Stallabteilen mit einer Geruchsemissionsminderung zu rechnen ist. Eine konkrete Aussage zur Höhe der Emissionsminderung ist auf Grund des Datenmaterials (zu wenig Stichproben) noch nicht zulässig. Die aus der Literatur bekannte Korrelation zwischen Abteilstemperatur und Geruchsemission (OLDENBURG, 1989; BÜSCHER et al.; 1996) konnte auch in diesen Untersuchungen festgestellt werden. Ziel des Projektes war es, durch die Kombination einer Biogasanlage mit Beheizung und Kühlung in der Schweinemast eine optimierte Energieausnutzung der anfallenden Wärmeenergie zu erreichen. Die Emissionsreduzierung (NH<sub>3</sub>, Geruch) ist ein positiver Nebeneffekt, der dem Umweltschutz dient.

#### 4 Literatur

Die Literaturliste kann beim Autor angefragt werden (g.beyersdorfer@clausberg.tll.de).

## Sensorgestützte Analyse des Präferenzverhaltens von Schweinen – Aufbau und Struktur der Versuchsanlage und erste Ergebnisse *Sensor based analysis of the preference behaviour of pigs – configuration and equipment of investigation and first results*

BJÖRN BÖRGERMANN<sup>1</sup>, OTTO KAUFMANN<sup>1</sup>, BOZENA FRIEDRICH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät,  
 Institut für Nutztierwissenschaften, D-10115 Berlin

<sup>2</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Wirtschafts- und  
 Sozialwissenschaften des Landbaus, D-10115 Berlin

**Schlüsselwörter:** Schwein, Praferenzverhalten, Sensorgestützte Analyse  
**Keywords:** Pig, preference behaviour, sensor based analysis

### **Zusammenfassung**

*Für die Untersuchungen wurde ein System entwickelt, welches Aufenthaltsort, -dauer und -frequenz von einzelnen Schweinen in verschiedenen Teilbereichen ihrer Haltungsumwelt über den gesamten Haltungszeitraum aufzeichnet. Dies wird durch die flexible Anordnung von sechs Durchgangstoren, zwei Tränken und zwei Futterautomaten mit jeweiliger Tiererkennung ermöglicht. Für jeden Versuchsdurchgang werden 22 wachsende Schweine in das System eingestallt und ihr Verhalten bezüglich ihrer Präferenz für verschiedene Segmente eines Haltungssystems evaluiert. Eine Anpassung des Systems führte zu einer Steigerung der Erkennungsgenauigkeit. Die ersten Ergebnisse weisen eine erhebliche Varianz in der Nutzungshäufigkeit und -dauer für die angebotenen Segmente auf.*

### **Summary**

*The system of this investigation can record the individual behaviour of each pig according to its preference for staying in a special environment. During the entire time of this study all data in terms of the preference for staying in a different locations, their duration and frequency of staying there were measured. This was achieved by the special and flexible arrangement of six passage gates, two drinkers and two automatic feeders with an individual identification system. 22 growing pigs were used for every experiment. Their behaviour according to their preference for different parts of the life stock production system were recorded and evaluated. At first the system was improved concerning the recognition accuracy. The results showed a considerable variance of the behaviour in terms of frequency and sequence of using a special segment.*

## 1 Einführung und Zielstellung

Die gesellschaftlichen Ansprüche an die Tiergerechtigkeit als Parameter der Qualität landwirtschaftlicher Prozesse haben sich von der Vergangenheit bis zum heutigen Zeitpunkt verändert. Um jenen neuen Ansprüchen gerecht werden zu können, ist der Einsatz neuer Forschungsmethoden notwendig.

Der für diese Untersuchung entwickelte Versuchsaufbau ermöglicht im Vergleich zu üblichen Kurzzeitanalysen eine permanente Erfassung von Verhaltensabläufen bei Schweinen über den gesamten Haltungszeitraum. Die aus dem Versuch gewonnenen Erkenntnisse sollen einen Beitrag leisten, die Bewertung von Verfahren in der Schweinehaltung aus Sicht der Tiergerechtigkeit zu objektivieren und zu vervollkommen. Darüber hinaus können sie zukünftig als sachliche Grundlage in gesetzbildende Prozesse zur Tierhaltung mit einbezogen werden.

Mit dem Forschungsvorhaben werden folgende Zielstellungen untersucht:

- Erfassung der Präferenz für verschiedene Segmente eines Haltungssystems durch Frequenz und Sequenz der Besuche und die Aufenthaltsdauer der Tiere in den unterschiedlichen Teilsegmenten des Haltungsraumes sowie den Einrichtungen des Komfortverhaltens.
- Umfang der Affinität zu Elementen des Haltungsraumes durch zeitweilig unterbrochene Erreichbarkeit eines Elementes (z.B. Element Beschäftigung) und Adaptation an die veränderte Situation.
- Analyse der Kompensationsmöglichkeiten durch alternative Umweltgestaltung.

## 2 Material und Methode

Die Struktur der Versuchsanlage (9,7 m x 13,3 m) wird durch die sechs Durchgangstore, zwei Tränken und zwei Futterautomaten mit jeweiligem Erkennungsfeld gebildet. Jedes Schwein trägt für die spezifische Identifizierung einen Responder im rechten Ohr. Die eigentliche Anordnung der Tore lässt sich für verschiedene Konzepte flexibel verändern (Abb. 1).

Der Schließdruck der sechs passiv arbeitenden Durchgangstore ist variabel je nach Tiergröße durch Druckluft steuerbar. Bei den zwei ad libitum Futterautomaten erfolgt eine exakte Dokumentation der tatsächlich aufgenommenen Futtermenge durch die Wägung eines Teilverrates inklusive der Futterschale.

Zur Erfassung der Präferenz bezüglich verschiedener Haltungssegmente ist das System derart gestaltet, dass die einzelnen Aufenthaltsbereiche jeweils nur ein Segment einer üblichen Haltung von Schweinen repräsentieren. Jeder Raum mit seinem speziellen Angebot in Ausstattung und Funktion ist nur durch ein Tor zu erreichen und durch ein zweites wieder zu verlassen, wobei jedes Ein- und Austreten registriert wird (Tab. 1).

Jede Sensorerkennung an Tor oder Futterautomat wird mit der Information Transpondernummer, Nummer des Erkennungsfeldes (1–10), Anfangs- und Endzeit der Erkennung und bei den Futterautomaten zudem mit dem Anfangs- und Endgewicht des Futterbehälters versehen. Die Genauigkeit beträgt bei der Uhrzeit eine Sekunde und beim Gewicht 10 Gramm. Die Sicherung der Daten erfolgt kontinuierlich als tagspezifische Text-Datei auf einem PC.

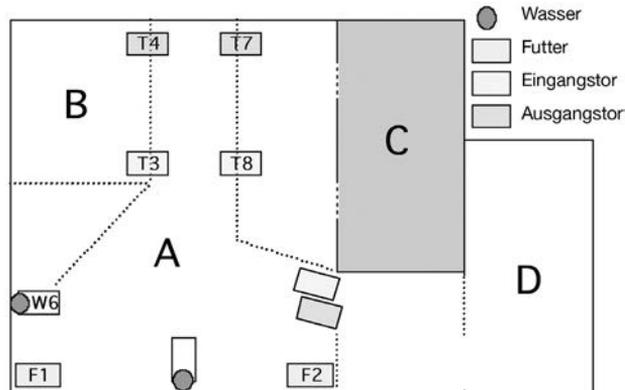


Abb. 1: Skizze der Versuchsanordnung 1-2004  
*Delineation of the test arrangement 1-2004*

Tab. 1: Angebot und Ausstattung der Bereiche A bis D im Versuch 1-2004  
*Offer and equipment of the areas A to D in the experiment 1-2004*

Bereich	Angebot/Ausstattung	Eigenschaft Boden
A	Nahrungsaufnahme: Futter, Wasser	befestigt, Beton
B	Beschäftigung Strohautomat	befestigt, Beton
C	Liegen/Ruhen	befestigt, Holz
D	Beschäftigung Wühlen, Liegen	lose, Sand

Tab. 2: Maßnahmen zur Steigerung der Erkennungsgenauigkeit  
*Measures to increase the recognition accuracy*

	Position Erkennung (Abstand zur Erkennung (cm))	Maßnahme	Fehlerrate (%)
Originalzustand	H 9, A 30	–	20–30
Schritt 1	H 9, A 5	Erkennung in Richtung Tor versetzt, Widerstand erhöht	15–25
Schritt 2	H 1, A 5	Transpondertest, Erkennung nach unten versetzt	5–15
Schritt 3	H 1, A 5	Beide Erkennungsfelder auf einer Seite hintereinander	5–10
Versuchslösung	H 1, A 5	Variable Verengung des Tor-durchganges	bis 5

Eine akzeptable Erkennungsgenauigkeit der Durchgangstore ist erst nach intensiver Überprüfung und mehrstufigen Verbesserungen erreicht worden. Während die Futterautomaten schon zu Beginn korrekte Werte des Futtermittels lieferten, zeigten die Tore starke Differenzen in der Anzahl von Eintritts- und Austrittskontakten. Mittels eines Transpondertests und Direkt-

beobachtungen zu den Tierbewegungen konnte eine Fehleranalyse durchgeführt werden, die in mehreren Schritten zu einer deutlichen Verbesserung der Erkennungsgenauigkeit geführt hat (Tabelle 2). Dafür wurden insbesondere die Position der Erkennungsplatte in der Höhe (H) und der Abstand zum Tor (A) verändert. Zusätzlich wurde der Öffnungswiderstand der Tore erhöht und ein variabel einzustellendes Leitblech in das Tor eingebaut, so dass die Schweine nun langsam und dicht an der Erkennung vorbei müssen.

Durch die Direktbeobachtungen konnte zudem ermittelt werden, dass der Anteil nicht abgeschlossener Torpassagen in weniger als ein Prozent der Fälle auftritt. Die durchgeführten Verbesserungen garantieren schließlich die Funktionstüchtigkeit der eingesetzten Technik und sind in der Lage differenzierte Aussagen im Sinne der Zielstellung geben zu können.

Die Datenerhebung in diesem Projekt beruht auf vier Säulen:

- Die technischen Komponenten zur permanenten Erfassung der Tierbewegungen während der gesamten Haltungsphase liefern die umfassendste Datenmenge. Von jedem Tier werden nach Versuche ca. 6.400 Datensätze erwartet.
- Ergänzend zu den technisch zu erfassenden Daten werden während der Haltungsperiode durch zwei Mal wöchentlich durchgeführte Direktbeobachtungen zusätzliche Informationen gewonnen. Sie sollen neben den aufgezeichneten Datensätzen das Verhalten der Tiere in den einzelnen Arealen weiter spezifizieren und Referenzen zu der Aussagekraft der rein technischen Daten liefern.
- Die Gewichtsentwicklung der Schweine wird wöchentlich durch Einzeltier-wägungen erfasst.
- Um Klimaeinflüsse berücksichtigen zu können werden kontinuierlich Datenreihen der Wetterstation am Versuchsstandort hinzugezogen.

Alle erfassten Daten werden zur Auswertung in eine Datenbank eingepflegt. Die Rohdaten der technischen Komponenten zum Präferenzverhalten der Schweine werden zudem durch einen Filter auf Doppelnennungen und unlogische Folgen in den Torpassagen bereinigt. Unlogische Folgen entstehen beispielsweise dann, wenn ein Schwein in einem Eingangstor erkannt aber als nächster Datensatz nicht das entsprechende Ausgangstor gefunden wird. So entsteht zunächst der bereinigte Datenpool „Gruppe“, der sortiert eine weitere individuelle Betrachtung des Einzeltieres ermöglicht. Diese beiden Datenmengen „Gruppe“ und „Einzeltier“ werden nun auf die drei essentiellen Parameter zur Erfassung des Wahlverhaltens der Schweine untersucht:

- **Frequenz** der Besuche
- **Sequenz** der Besuche
- **Aufenthaltsdauer** in den einzelnen Bereichen.

Die Auswertung der Daten soll mit Hilfe von zwei Modellen erfolgen: Das statistische Modell beinhaltet zunächst eine Auswertung auf der Basis Häufigkeitsverteilungen, Standardabweichungen und Varianzanalysen. Für einzelne Merkmale werden außerdem Zeitreihenanalysen durchgeführt. Weiterhin wird überprüft, ob eine Überführung der Daten für eine Vorhersage zur Befriedigung von Verhaltensbedürfnissen in ein sich an die „MPC-Theorie“ (Model predictive control) anlehnendes Modell (CAMACHO et.al. 1999) möglich ist.

Für einen Versuchsdurchgang werden 22 Schweine mit einem Einzeltiergewicht von ca. 28 kg eingestallt. Der Versuch endet nach ca. 95 Tagen bei einem mittleren Lebendgewicht von 110 kg. Eine Wiederholung des Versuchsdurchganges zu einer anderen Jahreszeit erfasst die jahreszeitlichen Einflüsse auf das Verhalten der Tiere. Weitere Untersuchungen werden mit einer veränderten Gestaltung der Haltungssegmente durchgeführt.

### 3 Erste Ergebnisse

Erste Ergebnisse werden im folgenden an den Tierreaktionen eines ausgewählten Datums dargestellt. Am 9.7.2004 unterliegen die Mastschweine in ihrem Wahlverhalten keiner Einschränkung in der Erreichbarkeit der Aufenthaltsbereiche. Die täglichen Zunahmen betragen 903g bei einem mittleren Lebendgewicht von 62,4 kg. Der Wettereinfluss an diesem Tag ist relativ konstant.

Der Sandauslauf (Bereich D) ermöglicht den Schweinen mit dem Verhalten Wühlen und Muldenbildung während der Liegephase ein hohes Maß an Bedürfnisbefriedigung (VAN PUTTEN 1978; GRAUVOGEL 1997). Die Annahme, dass die Schweine den Sandauslauf (Bereich D) (Frequenz  $n = 6$ , Aufenthaltsdauer 7 : 22 h/Tier<sup>d</sup>) eindeutig als Ort höchster Präferenz auszeichnen, lässt sich mit dieser Tagesauswertung nicht bestätigen (Tabelle 3).

Tab. 3: Statistik zum Verhalten der Gruppe bezüglich Frequenz und Dauer der Nutzung verschiedener Bereiche

*Statistics of the behaviour of the group concerning frequency and duration of using different areas*

je Tier	Bereich A Futter/ Wasser		Bereich B Strohautomat		Bereich C Ruhebereich		Bereich D Sandauslauf	
	n	t (h)	n	t (h)	n	t (h)	n	t (h)
MW	14	6:25	4	0:13	4	9:58	6	7:22
Max	28	16:44	13	1:04	11	19:10	16	18:06
Min	4	0:56	1	0:01	1	1:02	2	0:17
s	7	3:42	3	0:14	3	5:04	4	5:22

So wird die im Bereich B als Alternative angebotene Beschäftigungsmöglichkeit Stroh im Mittel über eine fast gleich hohe Frequenz ( $n=4$ ) genutzt. Die Aufenthaltsdauer ist jedoch deutlich geringer (0 : 13 h/Tier<sup>d</sup>). Die beträchtliche Aufenthaltsdauer im Ruhebereich C liegt in einer verstärkten Nutzung in der Zeit von 1 : 00 Uhr bis 10 : 00 Uhr. Die hohe Frequenz des Bereiches A ist im Zusammenhang mit dem Standort der Futterautomaten und Tränken zu sehen. Nach Abzug der Zeit zur Nahrungsaufnahme befinden sich die Tiere 5 : 19 h/Tier<sup>d</sup> in Form von Warten, Ruhen und Sozialkontakt im Bereich A.

Die täglich aufgewendete Zeit zur Nahrungsaufnahme beträgt im Mittel 1:06 h/Tier-d. Die Spannweite reicht von 0 : 47 bis 1 : 17 h/Tier<sup>d</sup> und illustriert das Phänomen von schnell und langsam fressenden Schweinen. Dagegen treten bei der Wasseraufnahme mit 0 : 04 h/Tier<sup>d</sup> nur geringe Schwankungen auf. Die Maßzahlen Mittelwert ( $n = 14$ ) und Standardabweichung ( $n = 12$ ) beschreiben die Verhältnisse zur Anzahl der Besuche an den Futterautomaten je Tier nicht hinreichend. So liegen 50 % der Tiere in einem Bereich von  $n = 7$  bis  $n = 17$  Besuchen je Futterautomat (Abbildung 2). Die Einzelwerte mit  $n = > 30$  werden sowohl von leichten als auch von schweren Tieren erzeugt und stehen nicht im Verhältnis zur aufgenommenen Futtermenge und der dazu aufgewendeten Zeit. Diese Extreme lassen sich sowohl auf ein tierindividuelles Verhalten als auch externe Störungen während der Futteraufnahme zurückführen. Die genaue zeitliche Zuordnung der Besuche von Futterautomaten und Tränken zeigt eine deutliche individuelle Präferenz der Schweine für einen Futterautomaten bzw. eine Tränke.

Insgesamt wird der Futterautomat 2 (FA 2) in der Frequenz und Dauer stärker genutzt als der Futterautomat 1 (FA 1).

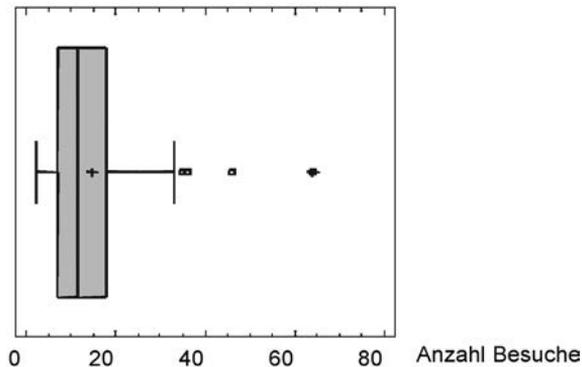


Abb. 2: Anzahl der Besuche je Tier an den zwei Futterautomaten  
*Frequency of the attendance at the two automatic feeders*

Erste Analysen zur Aufenthaltssequenz zeigen, dass die Schweine den Sandbereich in 57 % der Fälle in Richtung der zwei Tränken verlassen. Alle anderen Ziele haben einen Anteil von ca. 10 %. Umgekehrt verlaufen über 18 % der Tierbewegungen aus dem Bereich Strohautomat und Ruhebereich direkt in Richtung Sandauslauf. Einen höheren Wert erreichen mit ca. 21% ausschließlich die zwei Tränken. Die Futterautomaten werden nur nach Verlassen des Ruhebereiches mit einem Anteil von je > 10 % aufgesucht und erreichen nicht die Vorzüglichkeit der Tränken. Die höchste Gesamtaktivität im Tagesverlauf ist im zweiten Quartil festzustellen.

Die hohen Varianzen in den Ergebnisse zum Präferenzverhalten am 09.07.2004 lassen auf ein sehr differentes Bild zwischen den einzelnen Schweinen schließen. Dies betrifft sowohl die Aufenthaltsdauer als auch die Häufigkeit der Besuche in den einzelnen Bereichen A bis D. Gleichzeitig offenbart diese differenzierte Betrachtungsmöglichkeit auch die Kapazitäten der Versuchsanstellung.

Die Ergebnisse dieses Versuchsabschnitts mit freier Wahlmöglichkeit liefern eine erste Datenbasis für die Rangfolge von Elementen des Komfortverhaltens bei Schweinen. Zudem lassen sich daran zu erwartende Verhaltensadaptation bei Versuchsabschnitten mit zeitweilig versperrten Zugangsmöglichkeiten analysieren. Das Ziel der nächsten Auswertungsschritte besteht darin, durch Zeitreihenanalysen und Modellierung längerer Haltungsabschnitte Präferenzen und Affinitäten noch tiefgründiger zu beschreiben.

## 4 Literatur

- CAMACHO, E. F.; BORDONS, C. (1999): Model predictive control, Springer-Verlag, Berlin.
- GRAUVOGEL, A. (1997): Artgemäße und rentable Nutztierhaltung, BLV Verlagsgesellschaft mbh, München, S. 83–122.
- VAN PUTTEN, G. (1978): Schwein, In: Nutztierethologie, hg. von H.H. Sambras, P.Paray, Berlin-Hamburg, S.168–213.

# Präferenzversuche mit Mastschweinen im Liegebereich bezüglich Bodenstruktur und Lufttemperatur

## *Preference studies on fattening pigs in lying areas with regard to floor structure and air temperature*

INGE FESKE<sup>1</sup>, ANDREA HESSE<sup>1</sup>, DIRK HESSE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Kompetenzzentrums für Tierhaltung und Bauwesen (KTB) im Verein zur Förderung der bäuerlichen Veredlungswirtschaft (VzF), D-29525 Uelzen

**Schlüsselwörter:** Bodengestaltung, Stalltemperatur, Mastschweine, Liegebereichsgestaltung  
**Keywords:** *Flooring tapes, stable temperature, fattening pigs, lying area*

### **Zusammenfassung**

*Die Bodenbeschaffenheit ist ein entscheidender aber sehr kontrovers diskutierter Faktor bei der Beurteilung der „Tiergerechtheit“ eines Schweinestalles. Mittels eines Praxis-Screenings, eines Vergleichsversuches und eines Wahlversuches sollten daher die tatsächlichen Ansprüche von Mastschweinen hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit von Haltungssystemen ermittelt werden.*

*Von den untersuchten Böden hatte der geschlitzte Betonboden die positivste Wirkung auf die Tiergesundheit und Lebensmittelsicherheit und wurde am häufigsten (insbesondere bei hohen Lufttemperaturen) von den Tieren aufgesucht. Der tief eingestreute Boden kann insbesondere die Gelenksituation positiv beeinflussen und wird am zweithäufigsten (insbesondere bei niedrigen Lufttemperaturen) von den Tieren genutzt. Der geschlossene oder flach eingestreute Boden hat eher negative Auswirkungen auf die Tiergesundheit und wird in den absolvierten Wahlversuchen am seltensten von den Tieren gewählt.*

### **Summary**

*The type of floor is a decisive but controversial factor in the evaluation of the “animal appropriateness” of pig housing. Practical screenings, a comparative study and a preference study were used to evaluate the true requirements of pigs with regard to the floor characteristics of housing systems.*

*The slatted concrete floor was chosen most frequently among the floors included in the study (particularly with high air temperatures). This floor type also had the most positive effect on animal health and feed safety. The deep litter floor was the second preference (particularly with low air temperatures, and has an especially positive effect on animal joints. The flat littered floor the least frequently chosen type by the animal and had a more negative effect on the pigs' health.*

## 1 Einleitung

Fußböden sind für die Tiere Liegeplatz, Fressplatz, Kotplatz und Aktionsfläche. Zur Realisierung ihrer Verhaltensweisen müssen sie trittsicher, rutschfest und im Liegebereich trocken sein. Jungtiere benötigen bei strohloser Aufstallung einen beheizten Liegebereich. Fußbodenmaterialien dürfen dabei keine gesundheitsschädigenden Bestandteile enthalten. Die richtige Bemessung der Fläche ermöglicht die Bildung unterschiedlicher Aktivitätsbereiche in der Bucht.

Schweine verbringen – unabhängig vom Haltungsverfahren – über 80 % des Tages mit dem Liegen auf dem Boden. Der Boden hat somit einen sehr großen Einfluss auf die Tiergerechtheit eines Haltungsverfahrens. Im Folgenden sollen daher die Ergebnisse verschiedener, bereits abgeschlossener Untersuchungen zur Wirkung unterschiedlicher Böden auf Tiergesundheit, Hygiene und Tierverhalten zusammenfassend dargestellt werden.

## 2 Rechtliche Anforderungen an den Boden

Derzeit gibt es in Deutschland keine bundesweit einheitliche rechtliche Regelung zur Haltung von Schweinen. In einigen Bundesländern wird auf der im Jahre 2001 geänderten EU-Richtlinie gefußt, während in anderen Bundesländern per Erlass die materiellen Anforderungen der ehemaligen Schweinehaltungsverordnung vorgeschrieben sind. In der dritten Gruppe von Bundesländern gelten die materiellen Anforderungen der ehemaligen Schweinehaltungsverordnung, ergänzt um zusätzliche Anforderungen, welche wiederum in den Bundesländern sehr unterschiedlich definiert sind.

In der Diskussion zur Gestaltung der zukünftigen (seitens der EU bereits seit Januar 2003 verbindlich geforderten) Deutschen Regelung zur Schweinehaltung stehen neben einer 1:1 Umsetzung der EU-Richtlinie selbst ein Vorschlag des Bundesrates sowie ein Vorschlag des Bundesministeriums. In der Tabelle 1 sind die wesentlichen unterschiedlichen Vorschläge mit Bezug zum Boden dargestellt.

Während die EU ein fachlich sinnvolles angemessenes Ableitungssystem fordert, und der Bundesrat dies mit einem maximalen Perforationsgrad von 15 % als angemessen quantifiziert, widerspricht die BMVEL-Forderung von maximal 10 % allen praktischen Erfahrungen zur Verbesserung der Hygiene und Tiergesundheit. Die gegenüber der EU-Richtlinie von Bundesrat und BMVEL geforderte um 1mm geringere Spaltenweite ist aus Sicht des Tierschutzes und der praktischen Erfahrungen eindeutig zu begrüßen [8].

Die größte Problematik zeigt sich in der Festlegung der notwendigen Mindestflächen pro Tier. Unbestritten ist sicherlich, dass die in der EU-Richtlinie seit 1991 geforderten Werte mittlerweile aufgrund praktischer Erfahrungen im Tierschutz als zu gering bezeichnet werden dürfen. Was sich auch unschwer mit Beratungsempfehlungen in einschlägiger Fachliteratur belegen lässt. Die vom BMVEL vorgeschlagene Berücksichtigung der Gruppengröße bei der Festlegung der Mindestfläche je Tier folgt ebenfalls praktischen Erfahrungen sowie offiziellen Beratungsempfehlungen, und ist daher ebenfalls zu begrüßen [8].

Tab. 1: Zur Zeit in der Diskussion befindliche Forderungen zur Bodengestaltung in der Mastschweinehaltung [8].

Kriterium	EU-Richtlinie	Bundesrat	BMVEL
Schlitzweite	18 mm	17 mm	17 mm
Entgratete Kanten an den Schlitzten	–	Ja	Ja
Fläche pro Tier	0,35–0,65 m <sup>2</sup> /Tier	0,35–0,75 m <sup>2</sup> /Tier	0,28–1,1 m <sup>2</sup> /Tier je nach Gruppengröße
Perforationsgrad im Liegebereich	Angemessenes Ableitungssystem	15 %	10 %
Größe des Liegebereiches	–	50 % der Gesamtfläche	50 % der Gesamtfläche

Ganz im Gegensatz dazu stehen die ebenfalls vom BMVEL geforderten Mindestflächen pro Tier. Praktische Erfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass diese Flächen von den Tieren nicht benötigt werden sowie die Umwelt schädigen. Darüber hinaus bedeuten solch große Flächen eine erhebliche Einschränkung der Wettbewerbsfähigkeit [8].

### 3 Ausgewählte Untersuchungen zur Bodengestaltung

#### 3.1 Beschreibung der Untersuchungen

Die Sauberkeit verschiedener Böden und ihre Wirkung auf die Tiergesundheit stand im Mittelpunkt eines Praxis-Screenings. Nähere Einzelheiten sind unter [9] beschrieben. Die Untersuchungen zum Tierverhalten fanden auf der Versuchsstation der FAL in Braunschweig im Außenklimastall des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung statt. Details zu den beiden Versuchsbeschreibungen sind unter [10] bzw. [11] nachzulesen.

#### 3.2 Tiergesundheit auf verschiedenen Böden

Ein Praxis-Screening auf über 1800 Betrieben zeigte unterschiedliche Vor- und Nachteile verschiedener Böden. Die Lungen- bzw. Lebergesundheit ist um so besser, je geringer der Anteil von Stroh bzw. je geringer der Anteil an geschlossener Fläche ist. Eine besonders günstige Wirkung auf die Gelenk- bzw. Klauengesundheit hat offensichtlich die Tiefstreu. Sowohl die Größe einer geschlossenen Fläche als auch die Verwendung von Einstreu im Liegebereich haben auf die Gelenk- und Klauengesundheit keinen positiven oder negativen Einfluss. Dies bestätigt auch eine Untersuchung an über 1,7 Mio. Mastschweinen, wobei auf Teilspaltenböden allerdings eine deutlich erhöhte Zahl an Leberschäden festgestellt wurden [9].

Die Sauberkeit des Liegebereiches verbessert sich mit steigendem Anteil an Schlitzten deutlich. Im Liegebereich sollte der Schlitzanteil mindestens 15 % betragen, während für die Lauf- und Mistbereiche bis zu 40 % Schlitzanteil einen guten Kompromiss darstellen. In der Tiefstreu kann die Sauberkeit durch ausreichende Einstreumengen bzw. -häufigkeiten ebenfalls günstig beeinflusst werden [9].

### 3.3 Tierverhalten auf verschiedenen Böden

Im Rahmen eines Vergleichsversuches wurden Mastschweine über ein Jahr zeitgleich auf einem vollständig geschlitzten Betonboden sowie auf einer Tiefstreu gehalten. Es zeigte sich, dass die Tiere im Mittel des Jahres im Laufe des Tages ca. 50 % der Zeit auf dem Bauch liegen und nur etwas über 30 % auf der Seite liegen. Einzeln liegende Schweine konnten in etwa 40 % der Fälle beobachtet werden. Die häufigste Liegeart war das Aneinanderliegen in kleinen Gruppen [10].

Aufbauen auf diesen Untersuchungen wurden über mehrere Jahre Wahlversuche mit einem geschlitzten Betonboden und verschieden stark eingestreuten Flächen durchgeführt. Ergebnisse zu dieser Untersuchung sollen im Folgenden näher beleuchtet werden [11].

Im Sommerdurchgang war der Anteil der Schweine auf dem geschlitzten Betonboden mit durchschnittlich 61 % signifikant höher als auf den anderen Bodentypen. Weit weniger Mastschweine, etwa 17 %, hielten sich durchschnittlich auf dem flach eingestreuten Betonboden auf. Allerdings waren dort immer noch signifikant mehr Tiere als auf den übrigen zur Verfügung stehenden Böden. Der tief eingestreuete Boden sowie die Bodenfläche mit feuchtem Stroh-Mistgemisch wurden in dem Sommerdurchgang mit einem durchschnittlichen Anteil von ca. 7 % bzw. 3 % der Tiere am seltensten aufgesucht.

Auch der Anteil sitzender Schweine war entgegen den Beobachtungen von [2] auf dem geschlitzten Boden nicht zwangsläufig höher als auf eingestreuten Böden. Er war auf dem gut wärmeleitenden geschlitzten Boden bei einer Durchschnittstemperatur von 22 °C im Sommerversuch signifikant kleiner als auf den anderen zur Wahl stehenden Böden.

Beobachtungen von [3], dass es aufgrund einer verminderten Liegequalität auf dem geschlitzten Boden zu einer häufigeren Bauchlage kommt als auf geschlossenen oder eingestreuten Böden, konnten in diesem Wahlversuch nicht bestätigt werden. Die Untersuchungen lassen eher auf eine Temperaturabhängigkeit dieser Liegehaltung schließen, wie es auch bei der Differenzierung des Liegeverhaltens hinsichtlich der Lage mit oder ohne Körperkontakt der Fall war. Diese Annahme wird durch die Wahlversuche von [4] und [5] bekräftigt.

Ein Vergleich zwischen den Mittelwerten der Körperhaltungen auf verschiedenen Bodentypen (Tab. 2) zeigt, dass sich die Anteile der eingenommenen Körperhaltungen auf einer Bodenfläche signifikant unterscheiden.

Bei dem Vergleich der relativen Anteile zeigt sich, dass in dem Sommerdurchgang die Körperhaltung „Liegen“ – unabhängig des Bodentyps – die am häufigsten eingenommene war. Ihr relativer Anteil lag bei 60 %, auf dem geschlitzten Betonboden sogar deutlich höher bei über 90 %. Auch im Bezug auf den relativen Anteil der stehenden und sitzenden Mastschweine gab es mit Ausnahme des Bereichs mit geschlitzten Betonboden nur geringfügige Unterschiede zwischen den anderen Böden.

Die Ergebnisse einer Kovarianzanalyse belegen, dass der Anteil stehender und sitzender Schweine in erster Linie durch das Lebendgewicht der Tiere sowie durch die Tageszeit bestimmt wird und nicht signifikant durch die Lufttemperatur im Stall beeinflusst wird. Hingegen ist die Anzahl der liegenden Mastschweine auf einem Bodentyp entscheidend durch die Lufttemperatur beeinflusst. Es besteht daher hauptsächlich die Notwendigkeit, die Liegebereiche entsprechend den Bedürfnissen der Schweine zu temperieren [11].

Tab. 2: Durchschnittliche Häufigkeit des Liegens auf den fünf Bodentypen im Sommer- und Winterversuch sowie die Signifikanzen des Mittelwertsvergleichstest innerhalb eines Bodentyps

Boden		Sommerversuch			Winterversuch		
		$\bar{\chi}$	s	t-Test	$\bar{\chi}$	s	t-Test
Flachstreu	%	11,87	12,08	***	9,54	11,41	***
Stroh-Mist	%	2,24	4,76	***	0,00	0,10	***
Betonboden	%	7,09	6,05	***	0,63	2,45	***
Tiefstreu	%	3,96	6,99	***	52,06	21,24	***
Schlitzboden	%	56,7	22,45	***	13,96	16,96	***

signifikant:  $p < 0,005 = *$ ,  $p < 0,001 = **$ ,  $p < 0,001 = ***$

Zudem wird deutlich, dass sich die Temperaturbedürfnisse der Schweine während der Mastperiode stark verändern und somit die Temperaturempfehlung für Mastschweineställe differenziert nach der Bodengestaltung und dem Mastabschnitt des Schweins erfolgen sollten.

Unter Sommerklimabedingungen bei einer durchschnittlichen Lufttemperaturen von 22 °C wurde der geschlitzte Boden relativ bevorzugt als Liegefläche gewählt (bis zu 75 %), besonders von Schweinen ab einem Lebendgewicht von 35 kg. Nach [5] ist der geschlitzte Betonboden ungefähr 3 °C bis 5 °C kühler als der geschlossene Betonboden und circa 7 °C–8 °C kälter als eine 20 cm bis 25 cm hohe Mistmatratze. Er bietet daher mit steigenden Stalltemperaturen eine geeignete Liegefläche. Die Überforderung des thermoregulatorischen Systems der Tiere, die mit einem Unwohlsein verbunden ist, äußert sich im Liegen ohne Körperkontakt, in der Einnahme der Bauchlage oder im Sitzen [6]. Alle diese Anzeichen ließen sich im Sommer auf dem tief eingestreuten Boden sowie dem Boden mit Einstreu im Gegensatz zum geschlitzten Boden ohne Einstreu erkennen.

Im Winterversuch bei Temperaturen von 3 °C bis 15 °C wurde hingegen die tief eingestreute Mistmatratze bevorzugt von 40 % bis max. 60 % der Schweine über 60 kg Lebendgewicht als Liegefläche gewählt. Hingegen bot der wärmeisolierte Bereich mit geschlitztem Boden bei Temperaturen ab 17 °C den wärmebedürftigeren Tieren bis 80 kg eine geeignete Liegefläche. Bei Temperaturen von 22 °C bis 25 °C wurde dieser Bodentyp von annähernd 40 % der liegenden Schweine gewählt.

Alle übrigen im Versuch angebotenen Flächen (feuchtes Mist-Strohgemisch, flach eingestreuter Boden, Boden ohne Einstreu) wurden zu keiner dort herrschenden Lufttemperatur von mehr als 20 % der Mastschweine zum Liegen aufgesucht.

## 4 Fazit

Derzeit gibt es in Deutschland, je nach Bundesland, sehr unterschiedliche rechtliche Regelungen zur Schweinehaltung, u. a. auch zur Bodengestaltung. Auch die derzeit bereits gültige EU-Richtlinie und die in Diskussion befindlichen Vorschläge von Bundesrat und Bundesministerium unterscheiden sich erheblich. Die Verunsicherung in der Praxis ist dementsprechend groß.

Ein Praxis-Screening zeigte erhebliche gesundheitliche Vorteile für Böden mit Schlitzten zur Ableitung überschüssiger Flüssigkeiten. In einem über ein Jahr dauernden Vergleichsversuch

wurden keine signifikanten Unterschiede im Liegeverhalten von Schweinen auf Betonboden mit Schlitzten und einer Tiefstreu gefunden.

In Wahlversuchen wurde der geschlitzte Boden, unter Berücksichtigung von Sommer- und Winterperioden am häufigsten als Liegefläche genutzt. Die geläufige Auffassung, ein Schwein würde grundsätzlich einen geschlossenen, eingestreuten bzw. weichen Boden einem uneingestreuten, geschlitzten Boden gegenüber bevorzugen, kann mit diesem Versuch widerlegt werden [7]. Nach vorliegenden Ergebnissen muss vielmehr davon ausgegangen werden, dass ein praxisübliches Tiefstreuverfahren mit einem uneingestreuten, planbefestigten Fressbereich und einer tief eingestreuten Mistmatratze in den Sommermonaten bei Temperaturen von 18 °C bis 31 °C keine optimale Liegefläche zur Verfügung stellt und das Wohlbefinden der Schweine erheblich einschränkt wird.

Insgesamt betrachtet, zeigen verschiedenste wissenschaftliche Untersuchungen, dass der in der Praxis in den letzten Jahrzehnten vollzogene Umbau von eingestreuten, bzw. geschlossenen oder teilperforierten Böden hin zu vollflächig geschlitzten Böden aus Sicht der Tiergesundheit und der Lebensmittelsicherheit richtig war. Die, je nach Funktionsbereich, unterschiedlichen Schlitzanteile stellen eine konsequente Weiterentwicklung solcher Böden dar.

Aus versuchstechnischen Gründen wurden im letztgenannten Wahlversuch [11] die Lufttemperaturen in den verschiedenen Abteilen mehrfach pro Mastperiode variiert, was nicht der Praxis entspricht. Damit für Politik und Praxis noch bessere Entscheidungshilfen erarbeitet werden können, sollten Folgeuntersuchungen angesetzt werden, bei denen die hier gefundenen jeweiligen optimalen Lufttemperaturen über alle Böden gleichzeitig über die Mastperiode gefahren werden (bb.fal.de).

## 5 Literatur

- [1] HELLMUTH, U. (1989).
- [2] BÖHMER, M.; HOY, S. (1993).
- [3] BODENKAMP, K. (1998).
- [4] YAN, P. (2001).
- [5] OLSEN, A. W.; DYBKJAER, L.; SIMONSEN, H. B. (2001).
- [6] HAIDN, B.; BEHNINGER, S.; HORNAUER, N. (1998).
- [7] LEHMANN, B.; KRAUSE, R.; SCHELLERT, C. (1995).
- [8] HESSE, D. (2004).
- [9] HESSE, D.; GOLLNISCH, K.; SONNEBERG, H. (2000).
- [10] RUDOVSKY, A.; HOPPENBROCK, K. H.; HESSE, D. (2002).
- [11] FESKE, I.; HESSE, A.; HESSE, D. (2004).

Die vollständige Literaturliste kann von den Verfassern zur Verfügung gestellt werden.

## Beurteilung der Tiergerechtheit zweier Mastschweinehaltungssysteme *Animal welfare assessment of two housing systems for fattening pigs*

EBERHARD HARTUNG<sup>1</sup>, WOLFGANG BEA<sup>1</sup>, THOMAS JUNGBLUTH<sup>1</sup>, JOSEF TROXLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik (440), D-70593 Stuttgart

<sup>2</sup> Veterinärmedizinische Universität Wien, Institut für Tierhaltung und Tierschutz, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien

**Schlüsselwörter:** Tiergerechtheit, Mastschweine, Verhalten, Integument, Gesundheit  
**Keywords:** *animal welfare, fattening pigs, behaviour, integument, health*

### Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war ein Vergleich der Tiergerechtheit zweier Haltungssysteme für Mastschweine. Verglichen wurden ein herkömmlicher, zwangsbelüfteter Vollspaltenbodenstall (VSP), welcher bezüglich der Tiergerechtheit durch mehr Platz pro Tier und den Einbau einer Beschäftigungstechnik verbessert wurde mit einem alternatives Haltungssystem (GK), welches sich durch getrennte Klimabereiche, planbefestigte Liegeflächen und freie Lüftung auszeichnet. In beiden Abteilen wurden über vier aufeinander folgenden Mastperioden unter anderem die Aspekte des Liegeverhaltens, das Belly Nosing, das Spiel- und Erkundungsverhalten, die Veränderungen des Integuments, die Gesundheit, die Verschmutzung der Tiere und Buchtenböden und die Leistung der Tiere untersucht.

Das weiter entwickelte Haltungssystem GK mit freier Lüftung, getrennten Klimabereichen mit Ruheboxen erschien unter den sehr guten äußeren Bedingungen der Untersuchung gut und geeignet, um den Anforderungen einer tiergerechten Haltung zu genügen. Das Abteil Vollspaltenboden VSP hat bezüglich der untersuchten Parameter unter den gleichen Versuchsbedingungen bessere Ergebnisse ergeben als erwartet.

### Summary

The goal of this study was the comparison of two housing systems under the aspect of animal welfare. The first compartment (VSP) was designed as a conventional housing system, while the second compartment (GK) was conceived as an alternative housing system. For the comparative evaluation of the degree of animal welfare in the two systems, data regarding animal behaviour (lying, play and exploration behaviour during four fattening periods), alterations in the integument of the animals, animals health, and the performance parameters of the pigs were collected during four fattening periods.

The alternative kennel housing system GK with natural ventilation and separate climatic and functional areas appeared to meet animal welfare considerations within the excellent conditions of this investigation. The enriched conventional housing system VSP showed much better results concerning animal welfare considerations than expected.

## 1 Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens war ein Vergleich der Tiergerechtheit zweier Haltungssysteme für Mastschweine. Beurteilt wurde ein herkömmlicher, zwangsbelüfteter Vollspaltenbodenstall, welcher bezüglich der Tiergerechtheit durch mehr Platz pro Tier und den Einbau einer Beschäftigungstechnik verbessert wurde (Abteil VSP). Vergleichend hierzu wurde ein weiter entwickeltes, alternatives Haltungssystem, welches sich durch getrennte Klimabereiche, planbefestigte Liegeflächen und freie Lüftung auszeichnet, betrachtet (Abteil GK). Beide Haltungssysteme unterschieden sich bezüglich der Herkunft der Tiere, der Tierbetreuung, der Fütterung, den Beschäftigungsmöglichkeiten, der Entmistung und den Raummaßen nicht voneinander (BEA, 2004).

In den beiden Abteilen VSP und GK wurden über einen Gesamtzeitraum von vier aufeinander folgenden Mastperioden unter anderem die Aspekte des Liegeverhaltens, das Belly Nosing, das Spiel- und Erkundungsverhalten, die Veränderungen des Integuments, die Gesundheit, die Verschmutzung der Tiere und Buchtenböden und die Leistung der Tiere untersucht.

## 2 Tiere, Material und Methode

Bei den zur Untersuchung eingesetzten Tieren handelte es sich um eine Kreuzung der Rassen Deutscher Landrasse und Piétrain. Die Herkunft der Tiere war einheitlich. Sie wurden ausschließlich von der Versuchsstation, auf welcher sich auch der Versuchstall befindet, zur Verfügung gestellt. Der Versuchstall für Mastschweine befand sich auf dem Versuchsbetrieb „Unterer Lindenhof“ der Universität Hohenheim. Ein detaillierte Beschreibung der Haltungssysteme, der Verfahrenstechnik und des Managements der beiden Abteile ist BEA, 2004 zu entnehmen.

Die Erhebung der Daten zum Spiel- und Erkundungsverhalten erfolgte in beiden Abteilen durch Direktbeobachtungen, da Art und Dauer der Verhalten eine zuverlässige Auswertung auf Basis von Videoaufnahmen nicht zuließ. Für das Spielverhalten wurden die Verhaltensweisen „Springen/Laufen/Fangen“ und „Spielkampf“ in die Erhebungen einbezogen. Aufgenommen wurden alle beteiligten Tiere. Das Erkundungsverhalten wurde durch Erhebungen zur Erkundung am Sozialpartner und zur Erkundung an Gegenständen charakterisiert. Aus den beiden Bereichen wurden Daten zu den Verhaltensweisen „Massieren/Bearbeiten der Ohren, der Flanke und der Beine“ sowie die „Bearbeitung der Buchteneinrichtung“ erhoben. Aufgenommen wurde bei allen Verhaltensweisen das agierende Tier. Die Integumentbeurteilung fand jeweils einen Tag vor den Beobachtungen zum Sozial-, Spiel- und Erkundungsverhalten statt. Die erhobenen Lokalisationen mit den zugehörigen Befunden und Befundschlüsseln sind BEA, 2004 zu entnehmen. Die generelle Beurteilung der Gesundheit erfolgte in Form der Kontrolle der Häufigkeiten des Hustens pro Abteil. Des Weiteren fand eine kontinuierliche Registrierung der Medikation der Tiere sowie zur Morbidität und Mortalität über den Mastverlauf statt. Die Erfassung der Verschmutzung der Buchten und der Tiere wurde ebenfalls zwei Mal pro Woche durchgeführt. Das hierfür genutzten Boniturschemata sind BEA, 2004 zu entnehmen.

### 3 Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion

Das Liegeverhalten beschreibt die von den Tieren am häufigsten und längsten ausgeführte Verhaltensweise. Insgesamt liegen die Tiere im Abteil VSP länger (87,3 %), als im Abteil GK (86,6 %). Die erhobene Gesamtliedgedauer im Abteil VSP deckt sich mit den Werten von MAYER (1999) und GÖTZ (1986) und liegt leicht über der von ZALUDIK (2001). Die im Abteil GK ermittelte durchschnittliche Gesamtliedgedauer liegt leicht über den Angaben von BRAUN und MARX (1993) für Mastschweine im Nürtinger System (ca. 80 %) und denen von Mayer (1999) (80 bis 83 %) für Kistenställe. Die von Grauvogl (1984) beschriebene Verkürzung der Gesamtliedgedauer in größeren Tiergruppen konnte in dieser Untersuchung nicht bestätigt werden. Auch die von HEIZMANN et al. (1988) und von BEATTIE et al. (2000) beschriebene Verkürzung von inaktivem Verhalten von Mastschweinen in Buchten mit Strohraufen konnte im Vergleich zu den Literaturdaten nicht bestätigt werden. Im Abteil GK wanderte der Liegeort mit zunehmenden Stalllufttemperaturen aus den Ruheboxen in den außerhalb liegenden Bereich.

Sowohl die Häufigkeit als auch die Dauer des **Spielverhaltens** konnte weder innerhalb der Durchgänge im einzelnen Haltungssystem noch zwischen den beiden Haltungssystemen statistisch gesichert unterschieden werden. Jedoch war das Spiel der Tiere im Abteil GK tendenziell häufiger und länger zu beobachten, als im Abteil VSP, was die Ergebnisse von METZ und OSTERLEE (1981) bestätigt. Bei den schlachtreifen Tieren konnte im Abteil GK noch Spielverhalten beobachtet werden, während dies im Abteil VSP nicht mehr der Fall war. Da es sich in beiden Abteilen um Tiere gleicher Herkunft handelt, liegt der Schluss nahe, dass die größere Gesamtbuchtenfläche in der Großgruppenbucht des Abteil GK den schlachtreifen Tieren noch genügend Fläche zum Spielen bot, während im Abteil VSP diese Fläche nicht mehr zur Verfügung stand. Die Buchtenstruktur spielte für die Dauer des einzelnen Spielvorgangs, vor allem beim Fangen und Laufen ebenfalls eine Rolle. Im Abteil GK konnten die Tiere aufgrund der Plastikstreifenvorhänge der Ruheboxen ihre Spielfläche nicht überblicken. Da beim Fangen die Sichtbarkeit des Verfolgten zwingende Voraussetzung des Spiels darstellt, entzog sich der Verfolgte im Abteil GK hinter den Streifenvorhängen recht schnell dem Blickfeld des Verfolgers, weshalb der Spielakt oft abgebrochen wurde. Im Abteil VSP konnten die Tiere ihre gesamte Spielfläche überblicken, woraus bei den leichten Tieren (30–35 kg) die längeren Spielzeiten resultierten.

Für das Auftreten von **Belly Nosing** konnte im Vergleich der beiden Haltungssysteme im Abteil VSP signifikant häufigeres Belly Nosing festgestellt werden als im Abteil GK. Auch dauerte Belly Nosing im Abteil VSP signifikant länger als im Abteil GK. LAY et al. (2000) stellten ebenfalls mehr Belly Nosing in einem Vollspaltenbodenstall als in strukturierter Umgebung fest. Ursache dürfte die mangelnde Struktur in den Buchten im Abteil VSP sein. Wie bei SEBESTIK et al. (1984) konnte auch in dieser Untersuchung behagliches Verhalten des am Bauch massierten Tieres beobachtet werden. Die signifikante Abnahme der beobachteten Häufigkeiten von Belly Nosing mit zunehmendem Lebendgewicht bei ungefähr gleichbleibender Dauer stützt die von WOOD-GUSH et al. (1975) und VAN PUTTEN (1980) formulierte Aussage des Rückfalls der Tiere in juvenile Handlungen. Da die Buchten im Abteil VSP wenig strukturiert waren, somit wenig Umweltreize für die Tiere boten, konnte das *Belly Nosing* auch als Ersatzhandlung für Erkundungsverhalten der jungen, sehr aktiven Schweine betrachtet werden.

Im Gegensatz zu Belly Nosing löste die **Erkundung am Sozialpartner** kein wohliges, behagliches Gefühl bei den manipulierten Tieren aus, sondern wurde sichtlich unangenehm empfunden. Sichtbar war die unangenehme Empfindung an den abwehrenden Reaktionen der manipulierten Tiere, bis hin zur Flucht. Aufgrund der vor allem im Abteil VSP begrenzten Fläche war es den gepeinigten Tieren oft nicht möglich sich der Manipulation zu entziehen. Die Erkundung am Sozialpartner wurde häufig durch stehende Tiere vorgenommen, die sich suchend in der Bucht bewegten. Wie JACKISCH et al. (1996) in ihren Untersuchungen feststellten, trat auch in dieser Arbeit die Erkundung am Sozialpartner im Abteil VSP sowohl signifikant häufiger, als auch signifikant länger auf als im Abteil GK. Der Argumentation von TROXLER et al. (1986) und FRASER (1978) folgend, kann die kaum strukturierte und reizarme Umgebung im Abteil VSP als Ursache für das vermehrte Auftreten genannt werden. BEATTIE et al. (2000) fanden ebenfalls mehr partnergerichtetes Erkundungsverhalten in reizarmer Umgebung. Die Verhaltensweise trat trotz der in beiden Haltungssystemen installierten Beschäftigungstechnik auf.

Die Erkundung an der Buchteneinrichtung trat im Abteil VSP signifikant weniger häufig auf, als im Abteil GK. Durch die Größe und Struktur der Bucht im Abteil GK standen den Tieren bedeutend mehr veränderbare Materialien zur Verfügung, als den Tieren im Abteil VSP. Die von TROXLER et al. (1986) genannten Aktivitäten, wie z. B. nagen, zerrn und beißen bei der Erkundung konnten in beiden Haltungssystemen an unterschiedlichen Gegenständen beobachtet werden. Die Dauer dieser Verhaltensweise zeigte zwischen den Haltungssystemen keinen statistisch nachweisbaren Unterschied, nahm aber im Abteil GK im Mastverlauf signifikant zu. Da vor allem die Vorhänge der Ruheboxen über die gesamte Buchtfläche in kurzen Entfernungen zu erreichen waren, stellten sie eine bequeme Möglichkeit für die Tiere dar, auch bei hohem Lebendgewicht Erkundungsverhalten auszuleben.

Belly Nosing sowie die Erkundung am Sozialpartner traten im Abteil VSP gegenüber dem Abteil GK häufiger und tendenziell länger auf. Gleichzeitig war im Abteil VSP die Erkundung an der Buchteneinrichtung seltener und kürzer zu beobachten als im Abteil GK. Dies legt den Schluss nahe, dass die Erkundung am Sozialpartner durch die Erkundung an der Buchteneinrichtung substituiert werden konnte. Voraussetzung hierzu war das Vorhandensein von geeigneten, veränderbaren Gegenständen.

Die **Erkundung an der Beschäftigungstechnik** wurde im Abteil VSP signifikant häufiger beobachtet, als im Abteil GK. Das Angebot an verformbaren Material in der Beschäftigungstechnik ermöglichte das Erkundungsverhalten der Tiere im Abteil VSP. Die Dauer der Erkundung an der Beschäftigungstechnik pro Ereignis unterschied sich zwischen den beiden Haltungssystemen nicht signifikant, nahm aber in beiden Abteilen mit steigendem Lebendgewicht zu. Hieraus lässt sich die bei STUBBE (2000) beschriebene, dauerhafte Attraktivität der Beschäftigungstechnik für die Tiere erhärten. Die Installation von Beschäftigungstechniken in intensiven Haltungssystemen reichte in dieser Untersuchung insbesondere im Abteil VSP nicht aus, um den Erkundungstrieb der Tiere zu befriedigen.

Die Tiere erkundeten im Abteil VSP mit zunehmendem Lebendgewicht tendenziell häufiger an der Beschäftigungstechnik. Gleichzeitig nahm die Häufigkeit der Erkundung am Sozialpartner im Abteil VSP mit steigendem Lebendgewicht tendenziell ab. Da die durchschnittliche Dauer beider Verhaltensweisen mit steigendem Lebendgewicht tendenziell zunahm, wird vermutet, dass die Tiere aufgrund der mangelnden absoluten und relativen Fläche pro Tier in der Bucht, Erkundung und Spiel welche mit Bewegung und Ortswechsel verbunden sind, durch Erkundung ersetzen, die ohne Bewegung und Ortswechsel einhergehen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die vielfältigere Struktur, die Anordnung der Funktionsbereiche im Abteil GK sowie die angebotenen Erkundungsmöglichkeiten das normale Verhalten der Tiere begünstigen, da weniger partnergerichtete Ersatzhandlungen für Erkundungsverhalten auftraten, als im Abteil VSP

**Veränderungen am Integument** der Schweine finden sich in allen Haltungssystemen mehr oder weniger ausgeprägt. Nach SUNDRUM (1995) kann ein Haltungssystem nur dann als tiergerecht erachtet werden, wenn unter anderem durch die Gestaltung des Haltungssystems auch Schäden am Integument auf ein Mindestmaß reduziert werden können. Da für beide Haltungssysteme mit Tieren gleicher Herkunft, gleichem Futter aus derselben Fütterungsanlage, paralleler Versuchsdurchführung und gleichem Management identische Voraussetzungen gegeben war, können die an den einzelnen Lokalisationen aufgetretenen Veränderungen am Integument der Tiere direkt dem jeweiligen Haltungssystem zugeschrieben werden. Die in den Haltungssystemen gefundenen Veränderungen am Integument waren überwiegend von geringem Schweregrad. Schwerwiegendere Veränderungen konnten nur bei einzelnen Tieren festgestellt werden. An den Ohren und im Bereich der Liegeschwielen am Karpalgelenk traten im Abteil GK signifikant weniger Veränderungen auf. An allen anderen Lokalisationen war eine statistische Unterscheidung der Veränderungen zwischen den beiden Haltungssystemen nicht möglich. Schwerwiegende Veränderungen waren vor allem an den unkupierten Schwänzen der Tiere zu finden. Tendenziell traten im Abteil GK weniger Veränderungen an den Schwänzen der Tiere auf als im Abteil VSP. Diese Veränderungen deuten in beiden Abteilen darauf hin, dass optimales Stallklima, vielfältig nutzbare Beschäftigungstechnik, strukturierte Buchten und ausgewogener Fütterung nicht ausreichen, um das Erkundungsverhalten der Tiere in intensiven Haltungssystemen vollkommen zu befriedigen.

Die mit steigendem Lebendgewicht in beiden Haltungssystemen zunehmenden gesamten Veränderungen am Integument der Tiere stellen einen deutlichen Hinweis auf eine noch weiter zu optimierende Gestaltung der Funktionsbereiche und deren Zuordnung bezogen auf die gesamte Mastdauer dar. Das insgesamt etwas niedrigere Niveau der Gesamtsumme der gewichteten Veränderungen aller Tiere im Abteil GK zeigt, dass in dieser Untersuchung tendenzielle Vorteile für strukturierte Buchten mit größeren Gesamtflächen bestehen.

Die **Verschmutzung von Buchtenflächen und Tieren** lag mit durchschnittlich ca. 45 % im Abteil GK, obwohl die Tiere dort zwischen verschiedenen Temperaturbereichen wählen konnten, signifikant über der Verschmutzung im Abteil VSP mit ca. 36 %. Zudem nahm im Abteil GK die Tierverschmutzung mit steigendem Lebendgewicht zu. Ursache dürften zum einen die hohen Zunahmen der Tiere gewesen sein, wodurch sich ein großes Bedürfnis der Tiere zur Abgabe von Körperwärme ergab. Dadurch legten sich die Tiere schon bei mittelschwerem Gewicht und niedrigen Lufttemperaturen zunehmend nicht in die Ruhekisten, sondern wählten insbesondere die feuchten Flächen in der den Zuluftöffnungen zugewandten Buchtenhälfte. Aus diesem Verhalten kann der Schluss gezogen werden, dass die Buchtenstruktur keine ausreichend große Liegeflächen außerhalb der Ruhekisten bereit hielt. Durch die im Vergleich zum Abteil GK geringen Schwankungen der Stalllufttemperatur im Abteil VSP konnte ein Zusammenhang zwischen der Buchten- und Tierverschmutzung einerseits und der Stalllufttemperatur andererseits nicht hergestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen dem Lebendgewicht der Tiere sowie und der Buchten- und Tierverschmutzung war im Abteil VSP nicht herzustellen, da sich durch die geringe Buchtenfläche der Anteil an verschmutzter Fläche über den Mastverlauf kaum änderte. Ein eventueller Einfluss der Dusche im Abteil GK auf die Tierverschmutzung konnte nicht quantifiziert werden.

Bezüglich der **Gesundheit der Tiere** konnten weder für die Hustenereignisse noch für die Medikation der Tiere signifikante Unterschiede zwischen den Haltungssystemen gefunden werden. Auch bei der Morbidität und der Mortalität konnte statistisch zwischen den Haltungssystemen nicht unterschieden werden. Es bedarf infolgedessen keines vollklimatisierten Haltungssystems, um eine gute Gesundheit der Tiere zu gewährleisten und die Mortalität in einem geringen Rahmen zu halten.

Die **Leistungen der Tiere** waren mit täglichen Zunahmen von durchschnittlich 817 g im Abteil VSP und durchschnittlich 838 g im Abteil GK in beiden Abteilen sehr hoch und liegen im Bereich der von MAYER (1999) und KIRCHER (2001) festgestellten Zunahmen. Die Ergebnisse von ANDERSSON und BOTERMANS (1994), die schlechtere tägliche Zunahmen in einem Außenklimastall gegenüber einem Vollspaltenbodenstall fanden, konnten nicht bestätigt werden. Die Futtermittelverwertung konnte aufgrund der für beide Haltungssysteme gemeinsamen Fütterungsanlage und Futterbevorratung nicht zwischen den beiden Abteilen unterschieden werden. Sie lag mit 2,83 bis 3,03 kg Futter pro kg Zuwachs im Bereich der von MAYER (1999), KIRCHER (2001) ZALUDIK (2002) und SCHNIDER (2002) beschriebenen Werte. Ein Rückschluss auf die tiergerechte Haltung der Mastschweine in beiden Haltungssystemen kann nach Betrachtung der Ergebnisse jedoch nicht gezogen werden.

#### 4 Schlussfolgerungen

Abschließend kann festgestellt werden, dass das weiter entwickelte Haltungssystem mit freier Lüftung, getrennten Klimabereichen mit Ruheboxen unter den sehr guten äußeren Bedingungen der Untersuchung gut und geeignet erscheint, um den Anforderungen einer tiergerechten Haltung zu genügen. Das Abteil Vollspaltenboden hat bezüglich der untersuchten Parameter unter den gleichen Versuchsbedingungen bessere Ergebnisse ergeben als erwartet.

#### 5 Literatur

Die Literaturliste ist über den Verfasser verfügbar: vtp440ha@uni-hohenheim.de..

## Verbesserung der Bodenqualität im Liegebereich bei Mastschweinen *Improving the quality of the lying area in housing systems for fattening pigs*

PASCAL SAVARY<sup>1</sup>, RUDOLF HAUSER<sup>1</sup>, BEAT WECHSLER<sup>1</sup>, THOMAS JUNGBLUTH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bundesamt für Veterinärwesen, Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, Agroscope FAT Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

<sup>2</sup> Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, D-70599 Stuttgart

**Schlüsselwörter:** Schwein, Integument, Boden, Liegeplatzqualität, Liegeverhalten, Liegeunterlage, Kunststoff, Verfahrenstechnik

**Keywords:** Pig, integument, floor, quality of the lying area, lying behaviour, lying bedding material, rubber, process engineering

### **Zusammenfassung**

Bei Mastschweinen, die auf barem Betonboden liegen, treten häufig Schäden an der Haut der Gelenke der Extremitäten auf. Möglicherweise ruft die dauernde Abkühlung durch den Betonboden zudem Entzündungen der Gelenke hervor. Kunststoffunterlagen könnten bezüglich der Tiergesundheit eine adäquate Liegeplatzqualität bieten. Sie könnten die Haut vor Reibeffekten schützen und wirken isolierend.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts sollen Unterlagen aus Kunststoff auf ihre Resistenz gegen die Beanspruchung durch Mastschweine und auf ihren Einfluss auf die Gliedmassengesundheit und auf das Liegeverhalten untersucht werden. Für die Untersuchung von Entzündungen im Bereich der Tarsal- und Carpalgelenke wird die Methode der Infrarot-Thermographie zur Diagnostik eingesetzt.

### **Summary**

Injuries of the skin around the tarsal and carpal joints are common in fattening pigs lying on concrete floor. In addition to these external injuries, inflammation of the joints may occur as a result of the cold concrete floor. Provision of plastic mats in the lying area could have a positive effect on the health of these joints. The mats could protect the integument against friction and have an insulating effect.

The aim of the present study is to test plastic mats with regard to their resistance to exposure to fattening pigs and their influence on joint health and lying behaviour. An infrared camera will be used to diagnose inflammations of the tarsal and carpal joints.

## 1 Einleitung

Planbefestigte Betonböden ohne Einstreu sind als Liegeunterlage für Mastschweine unter dem Aspekt der tiergerechten Haltung problematisch. MAYER (1999) fand bei Haltungssystemen mit planbefestigtem Boden im Liegbereich (Kistenstall, Teilspaltenboden) im Vergleich zu Systemen mit eingestreuter Liegefläche mehr Techno- und Ethopathien. Als Technopathien werden haltungsbedingte Schäden (z. B. Schäden an der Haut der Gelenke) bezeichnet, während Ethopathien durch Verhalten hervorgerufene Schäden (z. B. Verletzungen als Folge von Schwanzbeissen) darstellen. Die Rauheit und Härte der Liegefläche wird hauptsächlich für Schäden an den Gliedmassen von Mastschweinen genannt (HORNAUER et al., 2001).

Eine Strohmattatze ist für die Gesundheit der Gliedmassen eine adäquate Liegeunterlage. Sie verhindert die Reibung der Haut auf dem Betonboden und isoliert gegen die Kälte des Betonbodens. Ein Liegebereich mit einer sauberen und trockenen Strohmattatze für Mastschweine benötigt aber eine grosse Menge an Stroh. Sofern auf einem Betrieb nicht genügend Stroh produziert wird, muss dieses zugekauft werden. Weitere Kosten beim Einsatz von Stroh entstehen bei der Lagerung des Strohs und beim Ausbringen des Mistes. Eine Alternative zur Strohmattatze könnten Liegeunterlagen aus Kunststoff darstellen.

GUT et al. (2001) stellten einen positiven Einfluss einer Liegefläche mit einer Kunststoffmatte auf den Gesundheitszustand von Mastschweinen fest, verglichen mit einer Liegefläche ohne Matte. Das Problem von Kunststoffmatten ist jedoch, dass sie durch die Schweine rasch beschädigt werden können und bereits nach einem Mastdurchgang völlig zerstört oder stark angefressen sein können (GUT et al., 2001; HOPPENBROCK, 2002). Auch in Rahmen eines Pilotversuchs an der Agroscope FAT Tänikon war eine Kunststoffmatte nach vier Wochen durch die Mastschweine schon stark angefressen. Im Vergleich zu Kunststoffmatten sind Kunststoffplatten durch die Schweine schwieriger zu beschädigen. Sie weisen aber keine Verformbarkeit auf, weshalb ihre Wirkung auf die Gesundheit der Gelenke weniger stark sein könnte. Im Vergleich zu Betonboden haben Kunststoffmatten und -platten zudem eine geringere Wärmeableitung, was dazu führen könnte, dass die Mastschweine bei erhöhten Lufttemperaturen vermehrt den Liegeplatz in den perforierten Kotbereich verlegen.

HAUSER (2003) stellte am Schlachthof fest, dass Mastschweine aus Betrieben mit Teilspaltenböden oder Liegekisten gegenüber Tieren aus Betrieben mit Einstreu stark verwachsene Gelenke aufwiesen. Bei der Zerlegung dieser Gelenke floss eine grosse Menge eitriger Flüssigkeit heraus, was auf Gelenkentzündungen hinweisen könnte. Diese Beobachtung wurde bisher nicht durch systematische Untersuchungen bestätigt. Möglicherweise ruft die dauernde Abkühlung durch einen Betonboden Gelenkentzündungen hervor.

Drei der fünf Kardinalsymptome einer Entzündung haben eine Hyperämie als gemeinsamen Ausgangspunkt, die mit Hilfe der Infrarot-Thermographie als verstärkt erwärmter Bereich der Hautoberfläche (hot spot) festgestellt werden kann (WEIL et al., 1998). Areale mit abweichender Temperatur können somit objektiv dargestellt werden. SABEC und LAZAR (1990) prüften, ob bei wachsenden Schweinen mit beginnender Osteoarthrose Temperaturunterschiede am Sprunggelenk nachzuweisen sind. Die festgestellten Unterschiede deuteten wohl auf Anomalien hin, aber die Wertung der Ergebnisse war für die Autoren unklar, da sie keine Referenzmessungen zu normalen Temperaturwerte bei Mastschweinen hatten. Mit Hilfe der Infrarot-Thermographie sollen in der hier vorgestellten Untersuchung normale Temperaturwerte bei Mastschweinen unterschiedlichen Alters gesammelt werden und es soll geprüft werden, ob Gelenkentzündungen objektiv und frühzeitig erkannt werden können.

## 2 Methoden

### 2.1 Versuchsaufbau

Die Untersuchungen an Mastschweinen auf verschiedenen Liegebereichen finden im Versuchsstall der Agroscope FAT Tänikon statt. Verglichen werden Daten zum Liegeverhalten und zur Gliedmassengesundheit bei Mastschweinen in Teilspaltenbodenbuchten, denen als Liegefläche eine Kunststoffplatte, eine Gummimatte, ein eingestreuter Betonboden oder ein blanker Betonboden angeboten wird. Die Mastscheine werden in Gruppen von zehn Tieren mit einem Gewicht von ca. 25 kg eingestallt und bis zu einem Gewicht von ca. 100 kg gemästet. Mit jeder Liegeunterlage sind sechs Wiederholungen (Mastdurchgänge) geplant. Die Liegeunterlagen werden bei jeder Wiederholung zwischen den Buchten vertauscht, um einen eventuellen Einfluss der Bucht auszuschliessen.

### 2.2 Qualität der Liegeflächen

Der eingestreute und der blanke Betonboden dienen als Kontrolle. Die eingestreute Liegefläche soll hinsichtlich der Gliedmassengesundheit optimale Bedingungen bieten. Der Boden wird auf der gesamten Fläche mit einer ca. 1cm hohen Strohschicht bedeckt. Bei der nicht eingestreuten Variante liegen die Schweine auf einem in der Praxis üblichen Betonboden.

Die Kunststoffplatte besteht aus einer harten unteren Schicht und einem vulkanisierten Gummibelag mit genoppter Oberfläche, der die Trittsicherheit gewährleisten soll. Sie wird mit Schrauben und Dübeln am Boden fixiert. Die Plattenelemente werden nach dem „Nut und Feder“ Prinzip ineinander verlegt.

Bei der Gummimatte handelt es sich um eine dreischichtige Matte. Die Aussenschichten sind aus Gummi und die mittlere Schicht besteht aus Schaumstoff. Die Gummimatte wird mit Leim auf den Boden geklebt und zusätzlich mit Flacheisen am Boden befestigt. Die Flacheisen sollen die offenen Kanten der Matte gegen das Anfressen durch die Mastschweine schützen.

### 2.3 Untersuchungsparameter

#### 2.3.1 Zustand der Matte

Um die Haltbarkeit der Kunststoffplatte und der Gummimatte einzuschätzen, werden diese nach jedem Mastdurchgang hinsichtlich ihrer Haftung am Boden (Anzahl lose Stellen), der Ausprägung von Beschädigungen wie Rissen oder Löchern sowie der Abnutzung der Oberfläche (Noppenhöhe) beurteilt.

#### 2.3.2 Verhalten der Schweine

Das Liegeverhalten wird während dreimal 72 Stunden pro Mastdurchgang mit Hilfe einer Videokamera aufgenommen. Die Videoaufnahmen erfolgen, wenn die Schweine 30, 60 und 80 kg schwer sind. Die Auswertung der Videoaufzeichnungen erfolgt mittels Time-Sampling-

Verfahren in einem Raster von 15 Minuten. Folgende Parameter werden ausgewertet: Seitenlage, Bauchlage, Unbestimmte Lage, Haufenlage, Stehen und Liegen im Liegenbereich oder im Kotbereich (Spaltenboden).

### 2.3.3 Veränderungen an der Haut der Gelenke

In regelmässigen Abständen wird die Ausprägung von Veränderungen an der Haut der Carpal- und Tarsalgelenken erfasst. Dabei wird die Ekesbo-Methode angewendet (EKESBO, 1984). Mit Hilfe eines Codeschlüssels wird die Ausprägung folgender Veränderungen festgehalten: haarlose Stellen, Hyperkeratosen, Wunden und Schwielen. Die Ekesbo-Untersuchungen finden beim Einstallen und danach jede vierte Woche statt. Insgesamt werden die Tiere fünfmal untersucht.

## 2.4 Entzündungsdiagnostik mit Hilfe der Infrarot-Thermographie

Die Infrarot-Thermographie oder Wärmebildtechnik beruht auf der Tatsache, dass alle warmblütigen Lebewesen elektromagnetische Strahlung in Form von Lichtwellen abgeben, deren Frequenz von ihrer Körpertemperatur abhängig ist. Mit Hilfe der Infrarot-Thermographie könnten Gelenkentzündungen objektiv und frühzeitig erkannt werden. In unserer Untersuchung wird für diesen Zweck eine Infrarotkamera vom Typ Thermacam E2 der Firma FLIR Systems eingesetzt. Mit 19200 Einzelpunkten gibt diese Infrarotkamera ein hochauflösendes thermisches Bild des ganzen Tieres wieder mit der Möglichkeit, an jedem einzelnen Punkt die genaue Temperatur zu bestimmen. Die Kamera wandelt die gemessene Wärmestrahlung in ein sichtbares, farbiges Bild um. Thermische Anomalien (Gelenkentzündungen) könnten so erkannt werden.

In der Literatur fehlt es an Grundlageninformationen über charakteristische Muster der Oberflächentemperatur bei gesunden Gelenken von Mastschweinen. Deswegen werden auch Schweine, die keine Lahmheiten oder Schwielen aufweisen, thermographiert. Von jedem Tier werden die rechte und linke Körperseite in einem Thermogramm festgehalten, um die Symmetrie der Temperaturverteilung an der Körperoberfläche und Temperaturmuster an den Gliedmassen zu erfassen. Mit Hilfe von entzündungsfreien Referenzbereichen können Entzündungen diagnostiziert werden. Für die Validierung dieser Methode werden die Gelenke aller untersuchten Schweine sowohl klinisch als auch nach der Schlachtung pathologisch auf Gelenkveränderungen untersucht. Die Datenaufnahme mit Hilfe der Infrarot-Thermographie erfolgt jeweils im Anschluss an die Videoaufnahmen zum Verhalten, wenn die Schweine 30, 60 und 80 kg schwer sind.

## 3 Ergebnisse

Die Daten waren zum Zeitpunkt der Erstellung des Tagungsbeitrages noch nicht ausgewertet. Die Ergebnisse der ersten drei Mastdurchgänge werden im Referat an der Tagung vorgestellt.

## 4 Literatur

- EKESBO, I. (1984): Methoden der Beurteilung von Umwelteinflüssen auf Nutztiere unter besonderer Berücksichtigung der Tiergesundheit und des Tierschutzes. Wien. Tierärztl. Mschr. 71, 6/7, 186–190.
- GUT, E.; LAUBE, R.-B.; FEHLHABER, K. (2001): Fachtagung zum Thema Tierschutz, Agrarwende und Heimtiere (Hrsg.), Verbesserung eines konventionellen Haltungssystems in der Schweinemast im Zuge gesetzlicher Neuordnung mittels Liegematten, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V., Nürtingen.
- HAUSER, R. (2003): Persönliche Mitteilung.
- HOPPENBROCK, K.-H. (2002): Gummimatten-Test verlief negativ. Top Agrar 6, 4.
- HORNAUER, N.; HAIDN, B.; SCHÖN, H. (2001): Tiergesundheit im Aussenklima-Kistenstall für Mast-schweine. Agrartechnische Forschung 7, H. 1, 11–14.
- MAYER, C. (1999): Stallklimatische, ethologische und klinische Untersuchungen zur Tiergerechtheit unterschiedlicher Haltungssysteme in der Schweinemast. FAT-Schriftenreihe, Band 50
- SABEC, D.; LAZAR, P. (1990): Erste Ergebnisse berührungsloser Temperatur-messungen mittels eines Infrarotthermometers am Sprunggelenk des Schweines mit Osteoarthritis tarsi deformans. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 97, 43–44.
- WEIL, M.; LUTZKE, L.-F.; FRITSCH, R. (1998): Diagnostische Aussagekraft der Thermographie bei Lahmheit des Pferdes. Tierärztl. Praxis 26, 346–354.



# Verhalten und Leistung von Mastschweinen bei der sensorgesteuerten Flüssigfütterung in Abhängigkeit vom Tier-Fressplatzverhältnis

## *Influence of the animal-feeding place ratio on the behaviour and performance of fattening pigs fed by means of sensor controlled liquid feeding*

BEAT WECHSLER<sup>1</sup>, DORTHE K. RASMUSSEN<sup>1</sup>, ROLAND WEBER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bundesamt für Veterinärwesen, Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, Agrosope FAT Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

<sup>2</sup> Agrosope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

**Schlüsselwörter:** Mastschweine, Fütterung, Verhalten, Leistung  
**Keywords:** *Fattening pigs, feeding, behaviour, performance*

### **Zusammenfassung**

Bei der Sensorfütterung handelt es sich um ein Flüssigfütterungsverfahren zur Sattfütterung von Mastschweinen. In der vorliegenden Untersuchung sollte abgeklärt werden, welchen Einfluss verschiedene Tier-Fressplatzverhältnisse auf das Verhalten und die Leistung der Tiere haben.

Das Experiment wurde mit 21 Gruppen zu 40 Mastschweinen (25–100 kg) durchgeführt. Untersucht wurden die Tier-Fressplatzverhältnisse 4:1, 7:1 und 13:1 (9, 6 bzw. 3 Fressplätze pro Gruppe), wobei jedes Tier-Fressplatzverhältnis 7 Mal wiederholt wurde.

Die Untersuchung zeigt, dass das Tier-Fressplatzverhältnis bei der Sensorfütterung einen deutlichen Einfluss auf das Verhalten und die Tageszunahmen der Mastschweine hat. Ein Tier-Fressplatzverhältnis von 13:1 wirkt sich insbesondere auf leichte, wahrscheinlich rangtiefe Gruppenmitglieder negativ aus.

### **Summary**

Sensor feeding is a liquid feeding system for fattening pigs. The aim of the present study was to quantify the effect of the animal-feeding place ratio on the behaviour and performance of the animals.

The study was carried out with 21 groups of 40 pigs (25–100 kg). Three different animal-feeding place ratios were investigated, 4:1, 7:1 and 13:1 (9, 6 and 3 feeding places per group). Each animal-feeding place ratio was tested with seven groups of fatteners.

It is concluded that the animal-feeding place ratio has a distinct influence on the behaviour and performance of fattening pigs fed by a sensor feeding system. An animal-feeding place ratio of 13:1 has a negative effect in particular on lightweight pigs, probably the subordinate group members.

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden verschiedene neue Fütterungsverfahren für Mastschweine entwickelt. Eines dieser Systeme ist die Sensorfütterung, bei der die Tiere mit Flüssigfutter sattgefüttert werden. Ein Sensor misst dabei den Füllstand im Trog. Ist dieser leer, wird er automatisch befüllt. Die Fütterung erfolgt jedoch in Intervallen, so dass die Tröge zwischen den Intervallen für einige Zeit leer sind.

Da es sich bei der Sensorfütterung um eine Sattfütterung handelt, muss nicht für jedes Tier ein Fressplatz vorhanden sein. Unter ökonomischen Gesichtspunkten wird ein möglichst weites Tier-Fressplatzverhältnis angestrebt. Hingegen ist aus Untersuchungen mit anderen Fütterungsverfahren bekannt, dass ein erweitertes Tier-Fressplatzverhältnis zu verschärfter Konkurrenz um das Futter, mehr Aggressionen am Futtertrog, kürzern Fressdauern, schlechteren Tageszunahmen oder einem Auseinanderwachen der Tiere einer Gruppe führen kann (z. B. BARNETT et al., 1992; KIRCHER, 2001; TURNER et al., 2002).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss des Tier-Fressplatzverhältnisses auf das Verhalten und die Leistung von Mastschweinen bei der Sensorfütterung zu klären.

## 2 Methoden

Es standen vier Versuchsbuchten zur Verfügung, in denen eine Liegefläche (4 x 5,55 m) mit Tiefstreukompost und ein Aktivitäts-Fressbereich (4 x 5,55 m) mit Spaltenboden eingerichtet war. Für das Experiment wurden 21 Gruppen zu 40 Mastschweinen (insgesamt 840 Schweine) eingesetzt, wobei die Hälfte der Tiere weiblich und die andere Hälfte Kastraten waren. Die Tiere wurden mit 25 kg eingestallt und mit ungefähr 100 kg geschlachtet.

Die Schweine wurden mit einer Sensorfütterung in fünf Fütterungsintervallen pro Tag gefüttert (7:30, 10:30, 15:00, 18:00, 21:00 Uhr). Pro Fütterintervall überprüften die Sensoren den Füllstand der Tröge maximal 6 Mal. Untersucht wurden die Tier-Fressplatzverhältnisse 4:1, 7:1 und 13:1 (9, 6 bzw. 3 Fressplätze pro Gruppe), wobei jedes Tier-Fressplatzverhältnis 7 Mal wiederholt wurde.

Bei 12 Fokustieren pro Gruppe wurde das Verhalten im Fressbereich (Fressdauer, Wartedauer am Trog, Aggressionen, durch Aggression verdrängt werden, ohne Aggression weggeschoben werden) im Alter von 14 und 17 Wochen mittels 24 h-Videoaufnahmen analysiert. Als Fokustiere wurden pro Gruppe vier leichte, vier mittelschwere und vier schwere Tiere ausgewählt. Die Masttageszunahmen wurden für alle Tiere berechnet. Als weiterer Indikator zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit wurden bei den Fokustieren Speichelproben zur Bestimmung der Cortisolkonzentration genommen. Die Auswertung der Daten erfolgte mit gemischten linearen Modellen.

## 3 Ergebnisse

Mit steigendem Tier-Fressplatzverhältnis frassen die Mastschweine pro Trogbesuch signifikant weniger lang ( $p < 0,001$ ). Im Durchschnitt dauerte ein Trogbesuch ungefähr eine Minute. Die Fressdauer pro Trogbesuch war bei leichten, mittelschweren und schweren Fokustieren nicht

signifikant verschieden. Bei älteren Tieren war sie aber signifikant länger als bei jüngeren ( $p < 0,05$ ).

Die Wartedauer am Trog wurde mit steigendem Tier-Fressplatzverhältnis signifikant länger ( $p < 0,001$ ; Abb. 1). Zudem warteten leichte Fokustiere signifikant länger als schwere ( $p < 0,001$ ). Die Wartedauer der Mastschweine war im Alter von 17 Wochen signifikant länger als im Alter von 14 Wochen ( $p < 0,05$ ), und es bestand eine signifikante Interaktion zwischen dem Alter der Tiere und dem Tier-Fressplatzverhältnis ( $p < 0,001$ ).

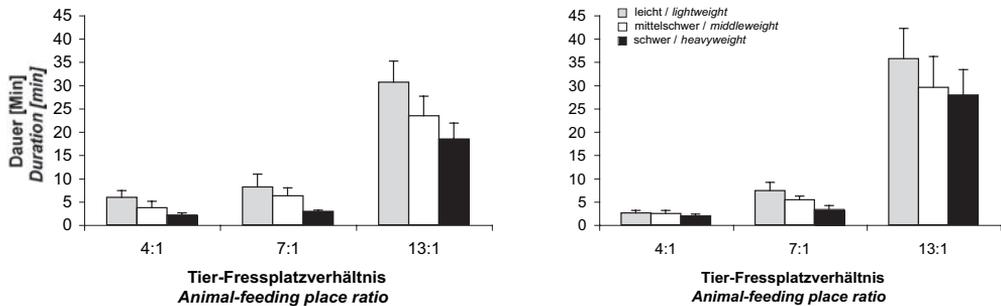


Abb. 1: Wartedauer am Trog (pro Tier und Tag) von Mastschweinen im Alter von 14 (links) und 17 (rechts) Wochen (Mittelwerte mit Standardfehlern); Die Säulen zeigen die Werte von leichten, mittelschweren und schweren Fokustieren

*Duration of waiting bouts at the feed trough (per animal per day) of fattening pigs aging 14 (left) and 17 (right) weeks (average values and standard errors); Bars show values of light, middleweight and heavyweight focal animals*

Die Häufigkeit von Aggressionen beim Fressen war nicht durch das Tier-Fressplatzverhältnis beeinflusst. Hingegen zeigten schwere Mastschweine häufiger aggressives Verhalten beim Fressen als leichte ( $p < 0,05$ ). Zudem waren bei Tieren im Alter von 14 Wochen signifikant mehr Aggressionen zu beobachten als im Alter von 17 Wochen ( $p < 0,001$ ).

Das Tier-Fressplatzverhältnis hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit, mit der die Mastschweine durch eine Aggression vom Trog verdrängt wurden. Hingegen wurden leichte Fokustiere signifikant häufiger mit einer Aggression vom Trog verdrängt als schwere ( $p < 0,001$ ), und solche Verdrängungen waren im Alter von 14 Wochen häufiger als im Alter von 17 Wochen ( $p < 0,001$ ).

Mit steigendem Tier-Fressplatzverhältnis wurden die Mastschweine beim Fressen signifikant häufiger ohne Aggression vom Trog weggeschoben ( $p < 0,001$ ; Abb. 2). Die Gewichtsklasse der Fokustiere hatte hingegen keinen signifikanten Effekt auf diese Art von Verdrängungen. Wegschieben am Trog ohne Aggression wurde bei Tieren im Alter von 14 Wochen signifikant häufiger beobachtet als bei Tieren im Alter von 17 Wochen ( $p < 0,001$ ), wobei auch eine signifikante Interaktion zwischen der Gewichtsklasse der Fokustiere und dem Tier-Fressplatzverhältnis bestand ( $p < 0,01$ ).

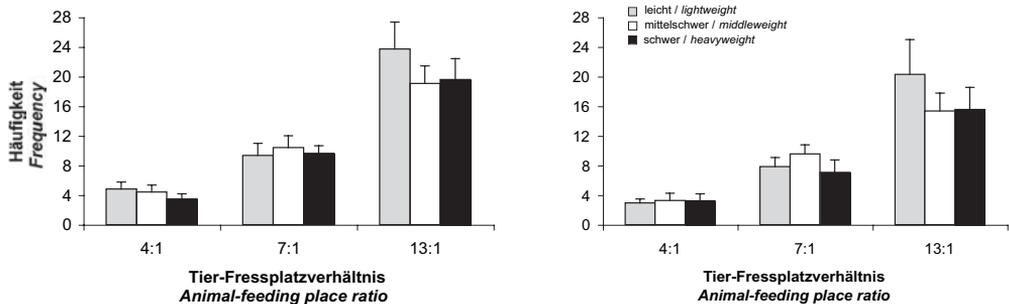


Abb. 2: Häufigkeit von Wegschieben vom Trog (pro Tier und Tag) ohne Aggression bei Mastschweinen im Alter von 14 (links) und 17 (rechts) Wochen (Mittelwerte mit Standardfehlern)  
 Frequency of displacements at the feed trough (per animal per day) not involving aggressive interactions (pushing only) in fattening pigs aging 14 (left) and 17 (right) weeks (average values and standard errors)

Die Masttageszunahmen bei den verschiedenen Tier-Fressplatzverhältnissen lagen im Gruppenmittel zwischen 912 (4:1) und 812 g/Tier/Tag (13:1). Die Zunahmen der Fokustiere waren mit steigendem Tier-Fressplatzverhältnis signifikant geringer ( $p < 0,001$ ; Abb. 3). Zudem waren die Zunahmen bei leichten Fokustieren signifikant tiefer als bei schweren ( $p < 0,001$ ).

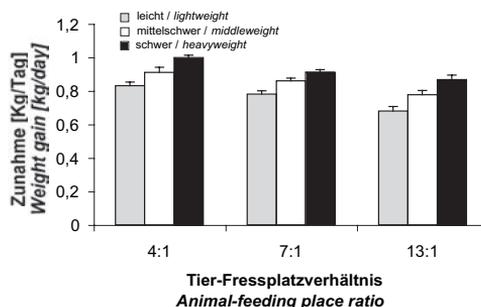


Abb. 3: Masttageszunahmen (Mittelwerte mit Standardfehlern)  
 Daily weight gain (average values and standard errors)

Das Tier-Fressplatzverhältnis hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Cortisolkonzentration im Speichel.

## 4 Diskussion

Bei mehreren Parametern wurde deutlich, dass leichte Tiere innerhalb einer Gruppe durch eine Erhöhung des Tier-Fressplatzverhältnisses besonders stark beeinträchtigt werden. Leichte Fokustiere hatten im Vergleich zu schwereren Gruppenmitgliedern erhöhte Wartedauern am Trog, wurden häufiger durch Aggressionen vom Trog verdrängt und wiesen schlechtere Masttageszunahmen auf. Dies dürfte dadurch begründet sein, dass es sich bei diesen leichten

Tieren um rangtiefe Tiere handelte. In anderen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass bei Schweinen ein starker Zusammenhang zwischen dem Gewicht und der Rangposition innerhalb einer Gruppe besteht (RUSCHEN, 1988; HICKS et al., 1998; ANDERSEN et al., 2000). BOTERMANS et al. (2000) stellten in ihren Untersuchungen an Mastschweinen mit Trockenfütterung ebenfalls fest, dass die Häufigkeit von Verdrängungen am Trog bei wachsender Konkurrenz anstieg und dieser Effekt bei den leichten Tieren am größten war.

Auffällig war, dass sich insbesondere ein Tier-Fressplatzverhältnis von 13:1 negativ auf das Verhalten der Mastschweine auswirkte. Hier wurden die Tiere häufiger ohne Aggression vom Trog weggeschoben als bei den anderen beiden Tier-Fressplatzverhältnissen und die Wartezeiten waren am Trog deutlich länger, was auf eine starke Konkurrenz um Zugang zum Trog hindeutet. Demgegenüber waren die Unterschiede zwischen den beiden Tier-Fressplatzverhältnissen 4:1 und 7:1 gradueller Art. Somit dürfte es für Mastschweine auch bei einem Tier-Fressplatzverhältnis von 7:1 nicht zu einer übermäßigen Beeinträchtigung des Verhaltens kommen. Voraussetzung für diese Beurteilung ist aber, dass die Tiere während der gesamten Mastdauer, insbesondere auch in der Ausmastphase, satt gefüttert werden.

## 5 Literatur

- ANDERSEN, I. L.; ANDENAES, H.; BØE, K. E.; JENSEN, P.; BAKKEN, M. (2000): The effects of weight asymmetry and resource distribution on aggression in groups of unacquainted pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 68, 107–120.
- BARNETT, J. L.; HEMSWORTH, P. H.; CRONIN, G. M.; NEWMAN, E. A.; MCCALLUM, T. H.; CHILTON, D. (1992): Effects of pen size, partial stalls and method of feeding on welfare-related behavioural and physiological responses of group-housed pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 34, 207–220.
- BOTERMANS, J. A. M.; GEORGSSON, L.; WESTRÖM, B. R.; OLSSON, A.-C.; SVENDSEN, J. (2000): Effect of feeding environment on performance, injuries, plasma cortisol and behaviour in growing-finishing pigs: studies on individual pigs housed in groups. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 50, 250–262.
- HICKS, T. A.; MCGLONE, J. J.; WHISNANT, C. S.; KATTESH, H. G.; NORMAN, R. L. (1998): Behavioral, endocrine, immune, and performance measures for pigs exposed to acute stress. *J. Anim. Sci.* 76, 474–483.
- KIRCHER, A. (2001): Untersuchungen zum Tier-Fressplatzverhältnis bei der Fütterung von Aufzuchtferkeln und Mastschweinen an Rohrbreiautomaten unter dem Aspekt der Tiergerechtigkeit. *FAT-Schriftenreihe, Band 53, FAT, Tänikon.*
- RUSHEN, J. (1988): Assessment of fighting ability or simple habituation: what causes young pigs (*Sus scrofa*) to stop fighting? *Aggr. Behav.* 14, 155–167.
- TURNER, S. P.; DAHLGREN, M.; AREY, D. S.; EDWARDS, S. A. (2002): Effect of social group size and initial live weight on feeder space requirement of growing pigs given food ad libitum. *Anim. Sci.* 75, 75–83.



## Advantages and disadvantages of indoor and outdoor housing of calves with respect to growth, health and working conditions *Vor- und Nachteile von Aufstallung und Hüttenhaltung von Kälbern in Bezug auf Wachstum, Gesundheit und Arbeitsbedingungen*

INGER DALGAARD

The Danish Agricultural Advisory Service, National Centre, Building and Technique, Udkaersvej 15, DK-8200 Aarhus N

**Keywords:** Calves, dairy cattle, Indoor housing, outdoor housing, pens, huts, growth, health, respiratory problems, diarrhea, mortality, working routines

**Schlüsselwörter:** Kälber, Milchvieh, Aufstallung, Kälberhütten, Box, Auslauf, Wachstum, Gesundheit, Atemprobleme, Durchfall, Sterblichkeit, Arbeitsroutine

### Summary

*In The FarmTest calves housed in indoor single pens/joint pens and in outdoor single huts/joint huts were compared. The following conditions were examined: Growth, health and feed consumption as well as the working routines of the herdsman. Newborn calves were weighed and placed alternately in single pens (indoor) or single huts (outdoor). At the age of 2–4 weeks the calves were weighed and moved to respectively joint pens and joint huts. There were four to six calves per group. Every second week the health condition of all the calves was evaluated. All the calves were milk fed. The test period stopped when the calves were 6–8 weeks old, and they were weighed for the last time. 439 calves was tested. The testing went on for 11 months. All consumption of feed, illness and treatment was registered. Outdoor calves performed best in most disciplines: least respiratory problems, least number of medical treated diarrhea, least number of lazy calves and lowest mortality in groups. Growth was the same in both housingsystems. Having the right arrangement of outdoor facilities and good working routines it is just as easy to keep calves housed outdoor as indoor.*

### Zusammenfassung

*Beim „The FarmTest“ wurden Kälberhaltung in Einzel-/Gruppenboxen und Einzel-/Gruppen-Kälberhütten verglichen. Untersucht wurde Wachstum, Gesundheit und Nahrungsaufnahme und Arbeitsroutine des Halters. Neugeborene Kälber wurden in Einzelboxen (im Stall) oder Einer-Kälberhütten (außerhalb des Stalles) untergebracht. Mit 2–4 Wochen wurden sie in Gruppenboxen bzw. -Hütten mit 4–6 Tieren pro Gruppe umgesetzt. Der Versuch wurde in der 6.–8. Lebenswoche abgeschlossen. Zu Beginn, beim Umsetzen und abschließend wurden die Tiere gewogen, alle 2 Wochen der Gesundheitsstatus bestimmt. Innerhalb von 11 Monaten wurden insgesamt 439 Kälber getestet. Die draußen in den Hütten gehaltenen Kälber schnitten in fast allen Punkten am besten ab: Weniger Atemwegsprobleme, weniger ernsthafte Durchfallerkrankungen, aktivere Tiere und geringste Mortalität. Der Zuwachs war in beiden Haltungssystemen gleich. Bei günstigem Aufbau und guter Arbeitroutine ist die Kälberhaltung in Hütten ebenso einfach wie im Stall.*

## 1 Introduction and background

Since the end of the 1990s, many new houses for dairy cows has been built in Denmark. Herd size usually increase when a new house is taken into use. Extended herd size, very high mortality among calves and bad health conditions among the calves, has brought along the need for more and better housing facilities for the calves.



Fig. 1: Indoor single pens for calves  
*Aufstallung der Kälber in Einzelboxen*

## 2 Material and methods

In this FarmTest calves housed in indoor single pens /joint pens (Fig. 1 and Fig. 2) and in outdoor single huts/joint huts (Fig. 3 and Fig. 4) were compared.



Fig. 2: Indoor joint pens for calves  
*Aufstallung der Kälber in Gruppenboxen*

The following conditions concerning calves were examined: Growth, health and feed consumption as well as the working routines and conditions of the herdsman.



Fig. 3: Outdoor single huts for calves  
*Einzelhaltung der Käber in Hütten mit Auslauf*

The FarmTest was performed at only one herd of dairy cattle and hereby with the same herdsman. This way the differences between herds and herdsmen were eliminated. Newborn calves were weighed and placed alternately in single pens (indoor) or single huts (outdoor).

At the age of 2–4 weeks the calves were weighed and moved to respectively joint pens and joint huts. There were four to six calves per group. Every second week the health condition of all the calves was evaluated and registered.



Fig. 4: Outdoor joint hut for calves  
*Gruppenhaltung der Kälber in einer Hütte*

During the total test period the calves were milk fed, they received concentrate and hay ad libitum. The test period stopped when the calves were 6–8 weeks old, and they were weighed for the last time.

The testing went on for 11 months. All consumption of feed, illness and medical treatment was registered. During the FarmTest period there was a severe case of Coccidiose among the indoor group housed calves. Later there was a severe lung virus primarily in the same group of calves.

The mortality was not significant different during to the rest of the test during the periods of Coccidiose and lungvirus.

### **3 Results and discussion**

#### **3.1 Calves in the test**

439 Calves started in the test. 378 calves finished the single housing period and 293 calves finished the group housing period. Most of the calves that didn't finish the test period died (see 3.8 Mortality). However, 38 calves were picked out to make the right group size of minimum 4 calves per group.

#### **3.2 Weight of calves**

At the start of the FarmTest indoor calves and outdoor calves weighed the same, about 40 kg. Outdoor housed calves weighed significantly more after the single housing period (indoor: average. 47.8 kg; outdoor: average 50.1 kg) and after the group housing period too (indoor: average 63.2 kg ; outdoor: average 69.1 kg).

#### **3.3 Growth**

During the whole test period, the average growth between indoor housed calves and outdoor housed calves was not significantly different.

#### **3.4 Feed consumption**

Outdoor calves consumed 5.2 SFU (Scandinavian Feed Unit) = 8 % more food than indoor calves during the total test period. 4.4 SFU was milk and 1.1 SFU was concentrate. Outdoor calves were given more milk during the winter period, to compensate for the extra need for energy to heat production caused by the low temperature in winter. Outdoor calves consumed 21 % more concentrate than indoor calves, probably because they weighed more by the end of the test period. Heavy calves eat more than small calves. But the case of coccidiose and lung virus among indoor calves might have contributed slightly to the lower feed consumption among indoor calves.

### 3.5 Respiratory problems

Indoor calves were treated medically for pneumonia four times more (42 %) often than outdoor calves (10 %). The reason for less pneumonia among the outdoor calves is probably related to the climate while the air changes much better in the outdoor huts than in the indoor pens.

### 3.6 Diarrhea

There were significantly more indoor calves (15 %) than outdoor calves (8 %) that were medically treated for diarrhea during the total test period. The reason for less diarrhea among the outdoor calves is probably related to the climate just like respiratory problems:

The air changes is much better in the outdoor huts than in the indoor pens. Good ventilation reduces the amount of bacteria in the hut, and thereby the contamination pressure.

### 3.7 Laziness

Among indoor calves twice as many calves (37 %) were lazy than outdoor calves (17 %). Laziness is a sign of less healthy calves, this observation confirms that indoor calves were less well than outdoor calves.

### 3.8 Mortality

Mortality was significantly higher among indoor housed calves than outdoor calves. The average mortality during the total test period was 25 %. The farmer agreed to host the FarmTest for several reasons. One reason was that calf mortality was far to high. Unfortunately participating in this FarmTest didn't improve this during the test period. As the other results show the direct reason for dead calves were pneumonia and diarrhea – sometimes caused by coccidiosis, influenza, rota- or corona virus etc.

### 3.9 Advantages and disadvantages of the two housing systems

According to the herdsman the two housing systems (indoor versus outdoor) had approximately the same number of advantages. Though the outdoor housing system has more disadvantages than the indoor housing system. It was inconvenient that several disciplines took longer time outdoor than indoor. Most of the inconveniences were caused by lack of a concrete square to place the huts on.

## 4 Recommendations to improve daily work with outdoor-housed calves

- Establish a concrete square for the huts
- Have electrical light by the huts

- Move calves and cleaning of the huts systematically
- Prevent water to wet concentrate in automatic feeders
- Establish an outdoor frost secure tap
- Trough must be easy to clean
- Cleaning should be done by machinery

## 5 Conclusion

### 5.1 Summary of growth and health

Outdoor calves performed best in most disciplines

- Least respiratory problems
- Least number of medical treated diarrhea
- Least number of lazy calves
- Lowest mortality in groups

But growth of indoor and outdoor calves was the same

### 5.2 Daily work and facilities for outdoor-housed calves

Outdoor housed calves performed best in four of five disciplines.

Having the right arrangement of outdoor facilities and good working routines it is just as easy to have calves housed outdoor as indoor.

## 6 Postscript

During the FarmTest the farmer decided to establish a concrete square and buy huts for all his calves. Electric light lights up the square when it is dark. This was done right after the FarmTest ended. Figure 5 shows the newly established square for calves.



Fig. 5: Concrete square with single and joints huts for calves age 0–3 months  
*Befestigter Platz mit Einzel- und Gruppenhütten für bis zu 3 Monate alte Käber*

The survey was performed in 2003 and 2004.

## Gummimodifizierte Betonspaltenböden für Mastbullen: Auswirkungen auf das Liegeverhalten, auf die Veränderungen der Haut im Bereich der Gelenke und auf die Klauengesundheit

### *Rubber-topped concrete slatted floors for fattening bulls: Influence on lying behaviour, on skin lesions at the leg joints and on claw health*

KATHARINA FRIEDLI<sup>1</sup>, LORENZ GYGAX<sup>1</sup>, BEAT WECHSLER<sup>1</sup>, HEIKE SCHULZE WESTERATH<sup>1</sup>, CLAUD MAYER<sup>2</sup>, TANJA THIO<sup>3</sup>, PETE OSSENT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bundesamt für Veterinärwesen, Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, Agroscope FAT Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

<sup>2</sup> Institut für Tierschutz und Tierhaltung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Dörnbergstr. 25–27, D-29221 Celle

<sup>3</sup> Institut für Veterinärpathologie, Universität Zürich, Winterthurerstr. 268, CH-8057 Zürich

**Schlüsselwörter:** Mastbulle, Liegefläche, Liegeverhalten, Verletzung, Klauengesundheit  
**Keywords:** *Fattening bulls, lying area, lying behaviour, skin lesions, claw lesions*

### **Zusammenfassung**

Mastbullen in Buchten mit gummimodifizierten Spaltenböden (LOSPA Einflächenbucht) wurden hinsichtlich Liegeverhalten, Veränderungen der Haut im Bereich der Gelenke und Klauengesundheit mit Tieren in Zweiflächenbuchten mit eingestreuter Liegefläche und Tieren in herkömmlichen Betonvollspaltenbuchten verglichen.

Die Ergebnisse zum Verhalten und zu den Veränderungen der Haut im Bereich der Gelenke zeigen, dass mit gummimodifizierten Spaltenböden eine Verbesserung der Liegeflächenqualität im Vergleich zu Betonvollspaltenböden erreicht werden kann. Die Ergebnisse zum Zustand der Klauen zeigen, dass der Klauenabrieb auf gummimodifizierten Spaltenböden ungenügend ist.

### **Summary**

Lying behaviour, skin lesions at the leg joints and claw health of fattening bulls were recorded in animals kept in pens with rubber-topped concrete slatted floors, in pens with conventional concrete slatted floors and in pens with a separate straw-bedded lying area.

The results concerning the lying behaviour and the skin lesions show that the quality of the lying area was improved with rubber-topped concrete slatted floors when compared to conventional slatted floors. The wear of the claws was insufficient on rubber-topped concrete slatted floor.

## 1 Problemstellung und Ziel

Verschiedene Untersuchungen haben darauf hingewiesen, dass herkömmliche Betonvollspaltenbuchten für Mastvieh hinsichtlich Liegeplatzqualität und Trittsicherheit den Anforderungen an eine tiergerechte Haltung nicht genügen (IRPS et al., 1988; RUIS-HEUTINCK et al., 2000). In der Schweiz dürfen denn auch bei Neu- und Umbauten für Mastvieh keine herkömmlichen Betonvollspaltenböden mehr eingesetzt werden. Als Alternative zu Betonspaltenböden werden auf dem Markt gummimodifizierte Spaltenböden angeboten. Es handelt sich dabei um Vollspaltenböden, die mit einer Gummiauflage versehen sind.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es abzuklären, ob mit gummimodifizierten Spaltenböden eine Verbesserung der Liegeflächenqualität erreicht werden kann und wie sich diese Böden auf die Klauengesundheit auswirken. Dabei wurden Mastbullen in Buchten mit gummimodifizierten Spaltenböden (LOSPA Einflächenbucht) mit Tieren in Zweiflächenbuchten mit eingestreuter Liegefläche und Tieren in herkömmlichen Betonvollspaltenbuchten verglichen.

## 2 Methode

Für die Untersuchung standen ein Versuchsstall, in dem alle drei Haltungssysteme (LOSPA Einflächenbucht, Betonvollspaltenbucht und Zweiflächenbucht mit eingestreuter Liegefläche) nebeneinander eingerichtet waren, und verschiedene Praxisbetriebe zur Verfügung.

Die Versuchstiere wurden im Alter von ca. vier Monaten eingestallt und im Alter von 13–15 Monaten geschlachtet (Schlachtgewicht ca. 540 kg). Das Flächenangebot betrug in den LOSPA Einflächenbuchten 2,5–2,9 m<sup>2</sup>/Tier, in den Betonvollspaltenbuchten 2,5–4,1 m<sup>2</sup>/Tier und in den Zweiflächenbuchten mit eingestreuter Liegefläche 4.6–11.6 m<sup>2</sup>/Tier. Insgesamt wurden Daten an 266 Tieren erhoben, für die Untersuchung der Veränderungen der Haut im Bereich der Gelenke und der Klauengesundheit standen 174 Tiere zur Verfügung.

### 2.1 Verhalten

Die Beobachtung des Liegeverhaltens und der Aufsteh- und Abliegevorgänge erfolgte mittels Videoaufzeichnung über jeweils 3 x 24 Stunden pro Betrieb und Bucht, und zwar gegen Ende der Mast, wenn die Tiere ca. 450 kg wogen. Die Daten wurden auf Einzeltierbasis erhoben. Dazu wurden die Bullen vor den Videoaufnahmen mit Haarfärbemittel individuell markiert. Bei der Auswertung der Videoaufnahmen wurden die Verhaltensweisen Gesamtliegezeit pro 24 Stunden, Anzahl der Liegeperioden pro 24 Stunden, Anzahl kurze Stehphasen mit einer maximalen Dauer von fünf Minuten, Anzahl Verdrängungen vom Liegeplatz, Anzahl der unterbrochenen Aufsteh- und Abliegevorgänge, Anzahl Aufstehvorgänge, die nicht dem normalen Bewegungsablauf entsprechen, Anzahl Abliegevorgänge, die nicht dem normalen Bewegungsablauf entsprechen, Ausrutschen beim Aufstehen und Abliegen sowie Hinfallen beim Aufstehen und Abliegen erfasst.

## 2.2 Veränderungen der Haut im Bereich der Gelenke

Die Veränderungen der Haut am Carpus und am Tarsus wurden systematisch erfasst. Dabei wurden die Befunde haarlose Stellen, trockene Krusten/Hyperkeratosen, entzündete/blutige Krusten, offene Wunden und Schwellungen in jeweils drei Schweregraden unterschieden. Die erste Untersuchung fand kurz vor dem Einstallen statt. Weitere Untersuchungen erfolgten dann in einem Abstand von ca. acht Wochen.

## 2.3 Klauengesundheit

Die Klauen wurden kurz vor dem Einstallen, ca. vier Monate nach dem Einstallen und nach der Schlachtung untersucht. Zur Bestimmung von Klauenlänge, Klauenform, Wachstum und Abrieb wurden verschiedene Messungen am Hornschuh durchgeführt. Zur Beurteilung der Klauengesundheit wurden jeweils zu den gleichen Zeitpunkten die äußerlich sichtbaren Klauenschäden erfasst, wobei die Befunde zerklüftetes und/oder Krater bildendes Horn im Ballen/Sohlenbereich, überwachsenes Horn im Ballen-/Sohlenbereich, abgenützter Tragrand an der Spitze, abgenützter Tragrand an der Seite, abgenützte Hornwand (Stufenbildung), überwachener Tragrand und abgesprengte Hornwand erhoben wurden.

Nach der Schlachtung wurden die Klauen ausgeschuht, um auch Schäden erfassen zu können, die die mit Nerven und Gefäßen versorgten Klauenteile betreffen und deshalb mit Schmerzen für das Tier verbunden sind.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Liegeverhalten, Aufsteh- und Abliegevorgänge

„Hinfallen beim Abliegen und Aufstehen“ kam in den eingestreuten Zweiflächenbuchten und in den LOSPA Einflächbuchten selten vor, war jedoch in den Betonvollspaltenbuchten relativ häufig zu sehen (Abb. 1). Die Trittsicherheit von LOSPA ist aufgrund der vorliegenden Daten im Zusammenhang mit dem Aufstehen und Abliegen als gut zu bewerten. Dieses Ergebnis deckt sich mit denjenigen der technischen Prüfungen von LOSPA an der DLG-Prüfstelle (DLG-Prüfbericht, 1994).

Die Tiere in den eingestreuten Zweiflächenbuchten wiesen die kürzesten, diejenigen in den Betonvollspaltenbuchten die längsten Liegeperiodendauern auf. Die Werte der Tiere in den LOSPA Einflächbuchten lagen dazwischen. Je härter der Boden, umso länger waren die Liegeperioden, ein Befund, der auch von RUIS-HEUTINCK et al. (2000) nachgewiesen wurde. Die Weichheit und Verformbarkeit des Bodenmaterials im System LOSPA Einflächbucht ist also zwar besser als in Betonvollspaltenbuchten, jedoch nicht gleichwertig zu derjenigen im System eingestreute Zweiflächenbucht.

Bezüglich unterbrochener Aufsteh- und Abliegevorgänge lagen die Werte der Tiere im System LOSPA Einflächbucht auf dem gleichen Niveau wie die Werte der Tiere im System Betonvollspaltenbucht und deutlich höher als die Werte im System eingestreute Zweiflächenbucht. Die vorliegenden Resultate sind möglicherweise dadurch bedingt, dass die knapperen Platzverhältnisse in den Systemen LOSPA Einflächbucht und Betonvollspaltenbucht im

Vergleich zum System eingestreute Zweiflächenbucht zu Beeinträchtigungen des Verhaltens der Tiere führten.

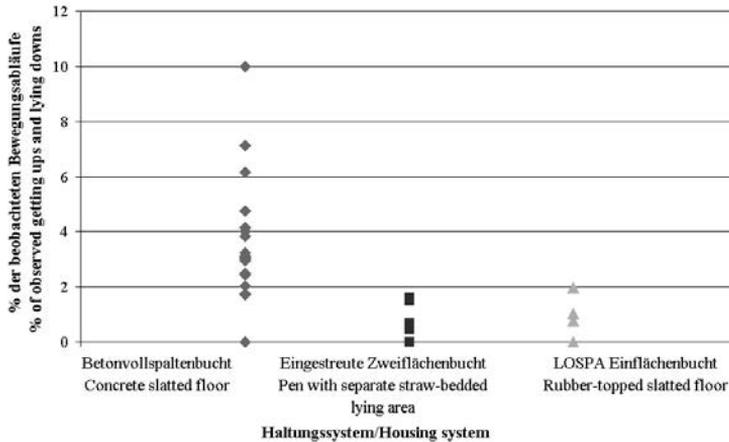


Abb. 1: Anteil Hinfallen beim Aufstehen und Abliegen (in Prozent der beobachteten Vorgänge) bei Mastbullen in Abhängigkeit vom Haltungssystem (Mittelwerte pro Tier aus 3 \* 24 h)  
*Falling down at getting up and lying down (in percent of all observed getting ups and lying downs) of fattening bulls in 3 different housing systems (mean per animal in 3 \* 24 h)*

Im Gegensatz zu RUIS-HEUTINCK et al. (2000), die bei kleinerer Fläche eine Abnahme der Gesamtliegedauer feststellten, konnte in der vorliegenden Untersuchung weder ein Einfluss der Fläche noch der Bodenqualität auf die Gesamtliegedauer beobachtet werden. Dies dürfte mit dem vergleichsweise tieferen Lebendgewicht der Tiere zum Zeitpunkt unserer Untersuchung (ca. 450 kg gegenüber ca. 600 kg in der Untersuchung von RUIS-HEUTINCK et al., 2000) zu erklären sein. Die ermittelten Liegedauern decken sich mit Ergebnissen aus früheren Untersuchungen (GRAF, 1979).

### 3.2 Veränderungen der Haut

Die Veränderungen der Haut im Bereich der Gelenke nahmen zwar im Laufe der Mastperiode zu, waren insgesamt jedoch sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch des Schweregrades gering. Insbesondere traten Schwellungen, die für das Tier als besonders schwerwiegend anzusehen sind, selten auf. Mastbullen in den LOSPA Einflächensbuchten nahmen in Bezug auf einige Parameter eine Mittelstellung zwischen Tieren in den Betonvollspaltenbuchten und Tieren in den eingestreuten Zweiflächenbuchten ein, was als Verbesserung der Liegefläche gegenüber den Betonvollspaltenbuchten gewertet werden kann.

Als Beispiel für die Verteilung der Veränderungen zeigt Abbildung 2 die Anzahl der Veränderungen am Sprunggelenk. Da SCHAUB et al. (1999) auch an Sprunggelenken von Milchkühen, die auf verschiedenen Produkten von weichen Liegematten gehalten wurden, deutlich mehr Schäden fanden als bei Kühen, die eine Strohmattatze als Liegefläche zur Verfügung hatten, erstaunt es nicht, dass die in LOSPA Einflächensbuchten gehaltenen Tiere insgesamt

mehr Veränderungen an den Gelenken aufwiesen als solche in eingestreuten Zweiflächenbuchten.

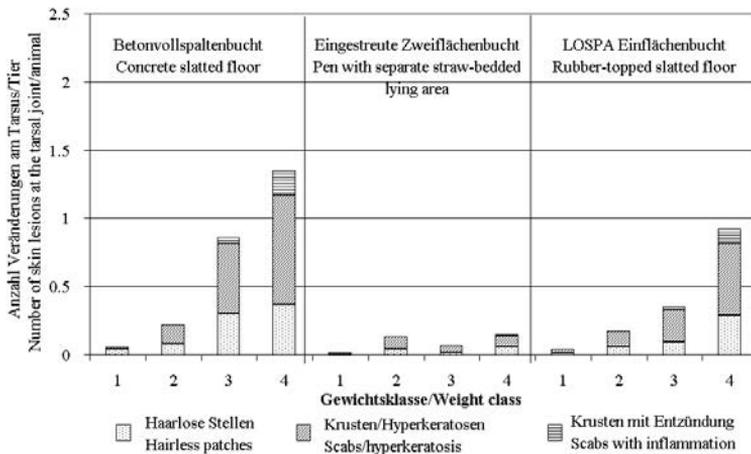


Abb. 2: Anzahl Veränderungen am Tarsus pro Tier in Abhängigkeit von Haltungssystem und Gewichtsklasse. Gewichtsklassen: 1 = < 220 kg, 2 = 220–320 kg, 3 = 320–450 kg, 4 = > 450 kg  
 Number of skin lesions per animal at the tarsal joint of fattening bulls in 4 different weight classes and kept in 3 different housing systems. Weight classes: 1 = < 220 kg, 2 = 220–320 kg, 3 = 320–450 kg, 4 = > 450 kg

### 3.3 Klauengesundheit

Die Klauenbefunde der Mastbullen aus den LOSPA Einflächbuchten und aus den eingestreuten Zweiflächenbuchten zeigten, dass in diesen Haltungssystemen kein ausreichender Klauenabrieb erfolgte. Dies widerspiegelte sich auch in den erhobenen Werten für die Klauenlänge und ist in Übereinstimmung mit den Resultaten anderer Autoren (z. B. SMITS et al., 1995). Veränderungen, die im Zusammenhang mit ungenügendem Klauenabrieb beziehungsweise übermäßigem Hornwachstum entstehen (überwachsenes Ballen-/Sohlenhorn, zerklüftetes, Krater bildendes Ballen-/Sohlenhorn, überwachsener Tragrand) traten deshalb ebenfalls häufiger in diesen beiden Systemen auf als in Betonvollspaltenbuchten. Überwachsenes und auch zerklüftetes, Krater bildendes Ballen-/Sohlenhorn kam allerdings auch bei Tieren in Betonvollspaltenbuchten relativ häufig vor.

Die vorgefundenen Klauenveränderungen waren teilweise recht ausgeprägt. Bei der Untersuchung der Schlachtklauen waren jedoch in keinem einzigen Fall nach dem Ausschuhem entsprechende Befunde auf der Lederhaut zu verzeichnen. Daher kann man davon ausgehen, dass die äußerlich sichtbaren Klauenschäden nicht mit Schmerzen verbunden waren. Dies wird auch durch die Tatsache bestätigt, dass die Schäden nicht zu einer Beeinträchtigung der Fortbewegung führten.

Die Klauenbefunde wurden im Lauf der Mastperiode zahlreicher und ausgeprägter. Bei einer Mastdauer von mehr als 15 Monaten wäre daher damit zu rechnen, dass sich durch die Befunde die Druckbelastung so ungünstig verändern würde, dass es zu einer mechanischen

Reizung der Lederhaut und damit Schmerzen für das Tier kommen würde. Aus diesem Grund wurde die Bewilligung für den gummi-modifizierten Spaltenboden LOSPA im Rahmen des Schweizer Prüf- und Bewilligungsverfahrens für serienmäßig hergestellte Stalleinrichtungen (WEBER und OESTER, 1998) mit der Auflage versehen, dass die darauf gehaltenen Mastbullen spätestens im Alter von 15 Monaten geschlachtet werden müssen (FRIEDLI et al., 2004).

#### 4 Literatur

DLG-Prüfbericht 4365 (1994): Kraiburg-LOSPA-Spaltenbodenaufgabe. DLG, Fachbereich Landtechnik, Prüfungsabteilung, Frankfurt am Main.

FRIEDLI, K.; GYGAX, L.; WECHSLER, B.; SCHULZE WESTERATH, H.; MAYER, C.; THIO, T.; OSSENT, P. (2004): Gummierte Betonspaltenböden für Rindvieh-Mastställe. FAT-Berichte Nr. 618, Agroscope FAT Tänikon.

GRAF, B. (1979): Spaltenbodenhaltung bei Mastochsen. In: Verhaltensbiologische und adaptionsphysiologische Aspekte der Spaltenbodenhaltung von Rind und Schwein. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 48, S. 73–88.

IRPS, H.; KOBERG, J.; HOFMANN, W.; DAENICKE, R. (1988): Vergleichsversuch mit Mastbullen in strohlosen Haltungsverfahren. Landbauforschung Völkenrode 38, Heft 2, S. 90–98.

RUIS-HEUTINCK, L. F. M.; SMITS, M. C. J.; SMITS, A. C.; HEERES, J. J. (2000): Effects of floor type and floor area on behaviour and carpal joint lesions in beef bulls. In: Blokhuis, H.J.; Ekkel, E.D.; Wechsler, B. (Eds.) Improving health and welfare in animal production. EAAP publication No. 102, Wageningen Pers, Wageningen, S. 29–36.

SCHAUB, J.; FRIEDLI, K.; WECHSLER, B. (1999): Weiche Liegematten für Milchvieh-Boxenlaufställe: Strohmatten und sechs Fabrikate von weichen Liegematten im Vergleich. FAT-Bericht 529, FAT, Tänikon.

SMITS, A. C.; PLOMP, M.; GOEDEGEBUURE, S. A. (1995): Comparison of behaviour, performance and health of bulls for beef production housed on concrete and on rubber topped concrete slatted floors. Wageningen, IMAG-DLO rapport 94/26. 48 p.

WECHSLER, B.; OESTER, H. (1998): Das Prüf- und Bewilligungsverfahren für Stalleinrichtungen. Agrarforschung 5, S. 321–324.

## Stallklimadaten und Liegeverhalten von Milchkühen als Bestimmungsgrößen für die Steuerung von Curtains im Liegeboxenlaufstall *Indoor climate data and lying behaviour of dairy cows – determinants for control of curtains in cubicle housing systems*

SILVIA GUTERMANN, MARTIN FREIBERGER, JOHANN LECKER, STEPHAN BÖCK,  
RUDOLF PEIS, STEFAN ENDERS, BERNHARD HAIDN

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** Freie Lüftung, Lüftungssteuerung, Curtains, Liegeverhalten, Milchkühe  
**Keywords:** *Natural ventilation, ventilation control, curtains, lying behaviour, dairy cows*

### **Zusammenfassung**

*Vorliegende Untersuchung findet zwischen Juli 2004 und Juli 2005 in zwei Milchvieh-Liegeboxenlaufställen statt. Mit Hilfe von Kennwerten zur Liegeboxenbelegung, des Stallklimas und der Witterung sollen sinnvolle Anhaltswerte zur Steuerung von Wandverschlusssystemen und Unterstützungslüftungen gefunden werden.*

*Das Liegeverhalten wird über ein System mit Ultraschallsensoren automatisiert in 51 Liegeboxen aufgezeichnet. Luftbewegung und Temperaturen werden an 15 Stellen im Stall erfasst.*

*Erste Ergebnisse aus einer dreimonatigen Aufzeichnungsperiode in einem 3-reihigen Liegeboxenlaufstall für 110 Milchkühe zeigen, dass die Kühe bei Temperaturen über 25 °C deutlich weniger in den Boxen liegen. Dagegen hatten Temperaturen unter 11 °C keinen Einfluss auf das Liegeverhalten. Daraus wird abgeleitet, dass Wandverschlusssysteme keinen engen und stetigen Regelbereich benötigen.*

### **Summary**

*This study is carried out between July 2004 and July 2005 in two cubicle barns for dairy cows. By characteristic values for the cubicle allocation, the stable climate and the weather meaningful reference values are to be found for the control of wall sealing systems and additional airing systems.*

*The lying behaviour is automated recorded by a system with ultrasonic sensors in 51 cubicles. Air velocity and stable temperatures are recorded at 15 places.*

*First results come from a three month experimental period in a three row cubicle barn for 110 dairy cows. They show that the cows visited the cubicles clearly less at temperatures over 25 °C. On the other hand temperatures below 11 °C did not influence the lying behaviour. In conclusion wall sealing systems do not require an exact range of control.*

## 1 Einleitung und Zielsetzung

In frei belüfteten Milchviehställen werden mehr und mehr flexible Wände in Form von Curtain, Netzen oder Mehrfachstegplatten eingesetzt, deren Öffnungsgrad, gesteuert über die Stallinnentemperatur und die Windgeschwindigkeit, automatisch verändert werden kann. Dadurch kann Einfluss auf das Stallklima genommen werden. Für den Landwirt hat dies u. a. den Vorteil, dass er nicht bei jeder Wetteränderung vor Ort sein muss.

Fraglich ist jedoch, ob sich durch stetige Anpassung der Wandverschlussöffnung, wie dies durch automatische Steuerungen möglich ist, für das Wohlbefinden der Milchkühe nennenswerte Verbesserungen ergeben.

Ziel dieser Arbeit ist es, Zusammenhänge zwischen dem Liegeverhalten von Milchkühen sowie der Umgebungstemperatur und der Luftgeschwindigkeit im Stall herauszufinden. Es wird angenommen, dass sich Kühe bei extremer Hitze seltener hinlegen und Orte mit hoher Luftbewegung (Laufgänge) aufsuchen (BÜSCHER, 2002; YOKOYAMA-KANO et al., 2004), während sie im Winter durch häufigeres Liegen ihre Körperoberfläche zu verringern versuchen und hohe Luftbewegungen meiden (DE FÁTIMA ÁVILA PIRES et al., 1999). Ferner soll anhand des Liegeverhaltens, vor allem besonderer Frequentierung bestimmter Liegeboxenbereiche, der Einfluss der Curtains in Verbindung mit ausgewählten Wettersituationen untersucht werden.

Aus den Ergebnissen sollen Kenngrößen zur Steuerung von Wandverschlussystemen und von Unterstützungslüftungen abgeleitet werden.

## 2 Material und Methode

Die Untersuchungen finden von Juli 2004 bis Juli 2005 in zwei quergelüfteten Milchvieh-Liegeboxenlaufställen (MV-1, MV-2) statt. Beide Außenklimaställe wurden im Rahmen des „Bayerischen Pilotvorhabens für artgerechte, umweltverträgliche und wettbewerbsfähige Tierhaltungsverfahren“ als Pilotbetriebe ausgewählt. Die Datenaufzeichnung im ersten Betrieb ist abgeschlossen. Nachfolgend soll dieser Betrieb, die Methode der Datenaufzeichnung sowie erste Ergebnisse dargestellt werden.

### 2.1 Versuchsstall und Messeinrichtung

Bei dem bereits untersuchten **Stall** (MV-1) handelt es sich um einen dreireihigen Liegeboxenlaufstall für 110 Milchkühe (siehe Abb. 1) im Süden Bayerns in der Nähe des Starnberger Sees. Der Stall war im Untersuchungszeitraum entsprechend der Liegeboxenzahl voll belegt. Die nach Westen (Hauptwindrichtung) liegende Traufseite am Futtertisch ist über die gesamte Länge mit zwei automatisch gesteuerten Curtains versehen. Der obere Curtain öffnet von oben her über 2,50 m, während sich der untere von unten nach oben über 0,90 m öffnet. Die Giebelseiten des Stalles sind i.d.R. stets geschlossen, wohingegen die Ost-Traufseite über ca. 2/3 der Länge zwischen Traufe und einer ca. 2 m hohen Holzverschalung ganzjährig offen ist. Zusätzlich finden sich dort vier Durchgänge zum Lauf- und Wartehof. Der First ist offen als Sheddfirst gestaltet.

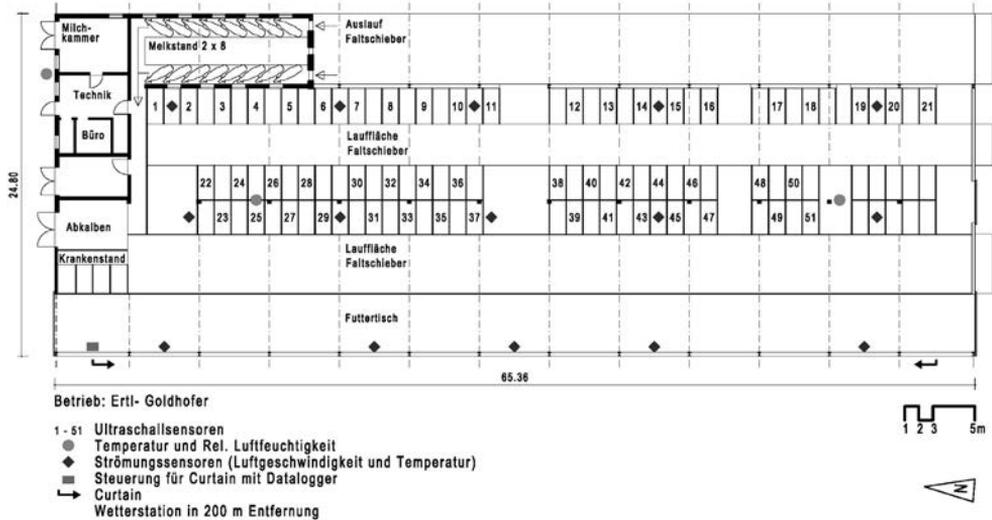


Abb. 1: Grundriss des untersuchten Stalles mit Anordnung der Messtechnik  
*Layout of the researched barn and the measuring technique set-up*

## 2.2 Messeinrichtung

Da Videoaufzeichnungen des Tierverhaltens über längere Zeiträume einen erheblichen Auswerteaufwand erfordern, kommen Ultraschallsensoren im Liegebereich über jeder zweiten Liegebox zum Einsatz. Diese werden auf zwei Abstände geteicht, so dass in den entsprechenden Liegeboxen die drei Zustände „leere Box“, „Kuh steht“ und „Kuh liegt“ unterschieden werden können.

Die Erkennung funktioniert über Ultraschall und unterscheidet sich darin von dem an der FAT (Tänikon) bereits erfolgreich eingesetzten System auf Infrarotlicht-Basis (SCHULZE WESTERATH et al., 2002). Die jeweiligen Signale über die Buchtenbelegung werden alle 4 Sekunden über ein BUS-System an einen zentralen PC geleitet und dort aufgezeichnet. Dabei werden jeweils 8 Sensoren von einem Mikroprozessor abgerufen. Ultraschallsensoren wurden für die Gruppe der laktierenden Kühe in jeder zweiten Liegeboxe (insgesamt in 51 Boxen, siehe Abb. 1) eingebaut.

Zur Aufzeichnung des **Stallklimas** werden sowohl an der Stallaußenwand als auch an zwei zentralen Stellen im Stall kombinierte Temperatur- und Luftfeuchtesensoren (HygroClip-S der Fa. Rotronik) eingesetzt. Zur Erfassung der Luftgeschwindigkeiten werden 15 Temperatur-Strömungssensoren (Hitzdrahtanemometer) (Fa. Schmidt, Strömungssensor SS 20.011) verwendet. Diese werden in drei Messlinien entlang der Liegeboxenreihen und entlang der Curtains montiert (siehe Abb 1). Der HygroClip-S zeichnet stündlich einen Wert für Temperatur und rel. Luftfeuchte auf. Die Temperatur-Strömungssensoren messen alle 5 Sekunden und fassen die Messwerte zu 10 Minuten-Mittelwerten zusammen.

Um die aktuelle Wetterlage zu erfassen, wird in ca. 200 m Entfernung zum Versuchsstall eine Wetterstation aufgestellt. Sie zeichnet die Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe auf. Des weiteren werden von ihr die Außentemperatur, die relative Luftfeuchte,

der barometrische Druck, die Globalstrahlung und der Niederschlag gemessen. Die Sensoren der Wetterstation sind von der Fa. ALMEMO. Die Messdaten werden im 10 Minutenintervall gespeichert.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Stallklima

In die Berechnungen gingen Daten im Zeitraum zwischen 10.08.2004 und 17.11.2004 ein. Insgesamt wurden je Variable über 100.000 Messwerte verrechnet. Da die Curtains in Abhängigkeit von der Temperatur zwischen 6 und 10 °C einen unterschiedlichen Öffnungsgrad aufweisen, wurden die Korrelationskoeffizienten für diesen sowie die darüber und darunter liegenden Temperaturbereiche getrennt berechnet.

Wie zu erwarten ist, besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Stalltemperatur (Durchschnitt aller Temperaturen der Strömungssensoren) und der Temperatur an der Wetterstation (Tab. 1). Der durchschnittliche Korrelationskoeffizient beträgt über alle Temperaturbereiche (–2 °C bis 33 °C) 0,99.

Tab. 1: Korrelationskoeffizienten zwischen Liegeverhalten, Temperatur und Windgeschwindigkeiten  
*Correlations between lying behaviour and air velocity*

Merkmale Temperaturbereiche	Temperatur. außen – Temperatur innen	Windgeschw. außen – Luftgeschw. innen	Temperatur. innen – Liegezeitdauer
> 11 °C	0,96	0,50	– 0,27
5–11 °C	0,91	0,56	– 0,06
< 5 °C	0,95	0,59	– 0,03
alle	0,99	0,53	– 0,16

Für alle Werte gilt:  $p < 0,0001$

Für die Windgeschwindigkeit an der Wetterstation und die Luftbewegung im Stall wurde ein Korrelationskoeffizient von 0,53 errechnet. Der Zusammenhang ist bei Temperaturen < 5 °C, d.h. bei geschlossenen Curtains, mit 0,59 am höchsten. Einen eindeutigen Hinweis, dass die Kühe mit steigenden Temperaturen weniger liegen, gibt der negative Korrelationskoeffizient von –0,27 für den Temperaturbereich über 11 °C. Dagegen ist in den beiden Temperaturklassen darunter mit 0,06 und 0,03 kein Zusammenhang feststellbar.

#### 3.2 Auswirkungen von Witterung und Stallklima auf das Liegeverhalten

Die Genauigkeit der Ultraschallsensoren zur Erkennung der Liegeboxenbelegung wurde zunächst in einem Vorversuch über 24 Stunden und für 4 Liegeboxen ermittelt. Neben der automatischen Erfassung der Boxenbelegung wurde zur Kontrolle die tatsächliche Belegung über Videoaufzeichnung erfasst und dabei eine Übereinstimmung von 99,7 % erzielt.

Die Auswertung der Liegeboxenbelegung im Betrieb MV-1 über den gesamten Untersuchungszeitraum ergab die in Abb. 2 durchschnittlich dargestellten Werte mit einer Spanne von 8 % bis 63 %. Es ist festzustellen, dass Randboxen, die zu den Durchgängen hin mit einer Bretterwand abgetrennt sind und damit weniger seitlichen Freiraum bieten, meist weniger als 20 % belegt sind und damit von den übrigen Liegeboxen erheblich abweichen. Die Werte der Liegeboxenreihe am Futtertisch liegen im Durchschnitt um ca. 10 Prozentpunkte höher als die beiden übrigen Reihen.

In Abbildung 2 ist ebenfalls die zwischen den 15 Messstellen linear interpolierte durchschnittliche Luftgeschwindigkeit aufgeteilt nach vier Klassen eingetragen. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Liegeboxenbelegung in einzelnen Stallbereichen und der dort gemessenen Luftgeschwindigkeit lässt sich nicht erkennen. Darauf weist auch ein Korrelationskoeffizient zwischen Luftgeschwindigkeit im Stall und Boxenbelegung von nur  $-0,05$  hin.

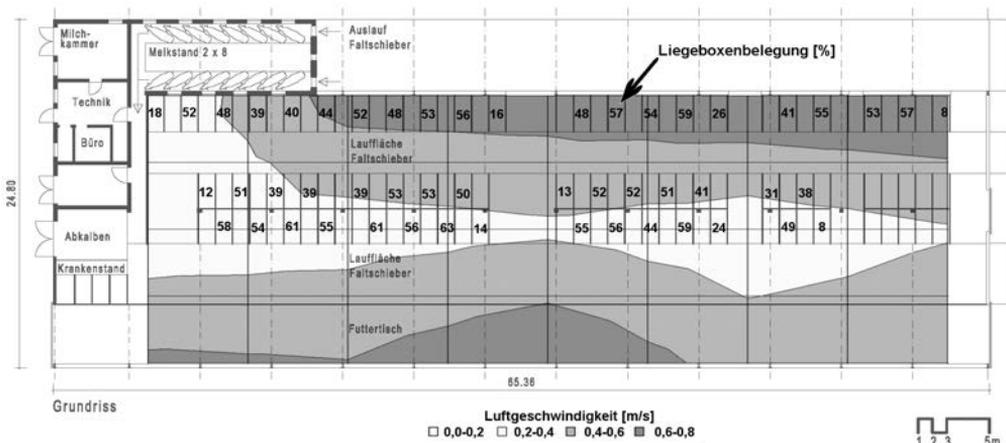


Abb. 2: Durchschnittliche Liegeboxenbelegung und Luftgeschwindigkeit im Stall über die gesamte Untersuchungsperiode  
Average cubicle allocation and air velocity during the whole measuring period

Der Zusammenhang einer niedrigeren Liegeboxenbelegung bei steigenden Temperaturen für den Wertebereich  $> 11$  °C (Tab. 1) zeigt sich anschaulich, wenn das Liegeverhalten an je fünf Tagen mit hohen und niedrigen Temperaturen verglichen wird (Abb. 3). Bei durchschnittlichen Temperaturen zwischen 25 und 30 °C ist eine um ca. 10–20 Prozentpunkte niedrigere Liegeboxenbelegung festzustellen als in Zeiten und an Tagen mit niedrigeren Temperaturen. Die Verschiebung der beiden Kurven zur Boxenbelegung resultiert daraus, dass auch für die Daten im November keine Umstellung von Sommerzeit auf Winterzeit erfolgte.

Als Fazit lässt sich aus den dargestellten Ergebnissen eines Betriebes ableiten, dass in einem Temperaturbereich von 6–10 °C keine aufwändige Steuerung der Wandverschlusssysteme erforderlich ist, da die Kühe durch ihr Verhalten keine Änderung im Wohlbefinden anzeigen. Dagegen reagieren Sie sehr wohl bei Stalltemperaturen über 25 °C mit verkürzten Liegezeiten. Maßnahmen zur verbesserten Wärmeabfuhr (Unterstützungslüftung) und zur Verringerung des Temperaturanstiegs (Abschattung) sollten aufgrund bisheriger Ergebnisse zwischen 20 und 25 °C eingeleitet werden.

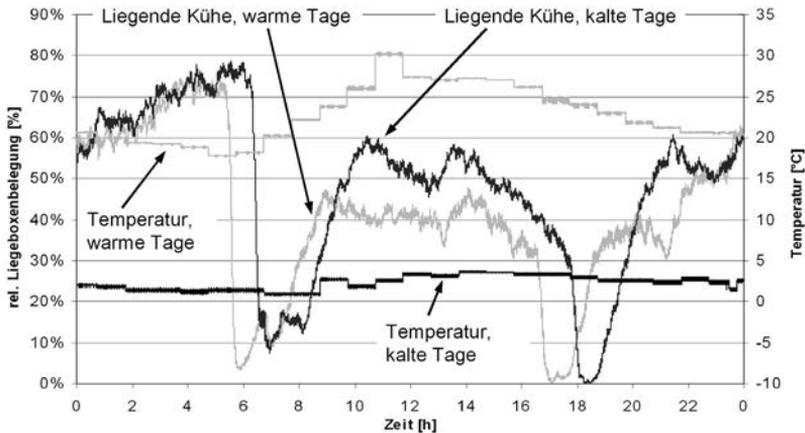


Abb. 3: Durchschnittliche Liegeboxenbelegung und Stalltemperatur an fünf kalten und warmen Tagen  
*Average cubicle allocation and indoor temperature at five cold and warm days*

## 4 Literatur

BINACA, W. (1979): Nutztier und Klima, in: *Der Tierzüchter*, 31/5, S. 188-192.

BÜSCHER, W. (2002): In erster Linie frische Luft, in: *Neue Landwirtschaft, Sonderheft Rind*, S. 12–14.

DE FÁTIMA ÁVILA PIRES, M.; DA SILVA VERNEQUE, R.; DE MORAES FERREIRA, A.; LUIZ TEODORO, R.; MATTANA SATURNINO, H. (1999): Behavior of Holstein Cows Housing in a Free Stall Barn, during Summer and Winter, in: *XXXVI Reuniao Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, Porto Alegre, 26. a 29. de julho de 1999.

SCHULZE WESTERATH, H.; MAYER, C. und Bollhalder, H. (2002): Automated registration of cubicle occupation in a cubicle housing system, in: *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Heft 29, S.169–172.

YOKOYAMA-KANO, J. S.; ALZINA-LÓPEZ, A.; FARFAN-ESCALANTE, J. C.; VALENCIA-HEREDIA, E. R. (2004): Respuestas conductuales termorregulatorias de búsqueda de sombra en bovinos cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus* criados en la zona costera y oriente del estado de Yucatán, in: *Revista Biomédica*, Vol. 15, No. 1, Enero-Marzo, 2004.

## Ammoniakmessungen in einer Auslaufhaltung für Kälber *Ammonia measurements in a free range calf housing system*

TORSTEN HINZ<sup>1</sup>, RICHARD EISENSCHMIDT<sup>1</sup>, STEFAN LINKE<sup>1</sup>, HEIKO GEORG<sup>2</sup>,  
GRACIA UDE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Kälber, Auslaufhaltung, Grossraumhütten, Baustoff, Ammoniak, Passivsammler  
**Keywords:** Calves, free-range housing, super hutches, Building material, ammonia, passive sampler

### Zusammenfassung

Im Rahmen eines Teilprojektes zur Untersuchung des Stallklimas in Großraumhütten aus ökologischen Baustoffen (LNS) mit Gründach und Großraumhütten aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GfK) wurden die stallklimarelevanten Gase Kohlenstoffdioxid und Ammoniak mit einem Gasmonitor in den Hütten gemessen. Je Hütte waren 6 Kälber im Alter von 3–6 Monaten in Außenhaltung aufgestellt. Als Größe mit Umgebungsbezug wurde Ammoniak im direkten Umfeld des Bestandes gemessen. Dazu kamen Passivsammler zum Einsatz, die im 14-tägigen Rhythmus gewechselt wurden.

Als mögliche Einflussgrößen wurden die Temperaturen in den Hütten und der Umgebung sowie die Windrichtung und - Geschwindigkeit aufgezeichnet. Die Konzentrationen in den Hütten variierten zwischen 560 ppm und 890 ppm für CO<sub>2</sub> und zwischen 0,4 ppm und 1,5 ppm für NH<sub>3</sub>. In der Umgebung reichte die Spanne der NH<sub>3</sub>-Konzentration von 1–60 µg/m<sup>3</sup> mit hoher zeitlicher und örtlicher Variabilität. Als entscheidender Parameter erwies sich die Außentemperatur.

### Summary

Acceptance of super hutches made of different building materials by calves in an outdoor area was investigated. Heat and the concentration of CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> inside the hutches influencing animal health and welfare was monitored. Regarding environmental aspects NH<sub>3</sub> concentration in the surrounding of the calf housing area was measured using diffusive samplers changed every 14 days.

As possible parameters influencing gas concentration inside and outside temperature and wind speed and direction were detected.

Average concentration inside the hutches range from 560 ppm to 890 ppm for CO<sub>2</sub> and 0.4 ppm to 1.5 ppm for NH<sub>3</sub>.

In the ambient air NH<sub>3</sub> concentration varied from 1 to 60 µg/m<sup>3</sup> with a high temporal and spatial variation .

Main parameter influencing the concentrations of NH<sub>3</sub> was probably outdoor temperature.

## 1 Inhalt und Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projektes „Optimierte Kälbergruppenhaltung in der ökologischen Milchviehhaltung“ wurde das Stallklima in Großraumhütten aus konventionellen Rohstoffen dem Stallklima aus nachwachsenden Rohstoffen gegenübergestellt. Die Hütten aus konventionellen Baustoffen bestehen aus glasfaserverstärktem Kunststoff, die aus nachwachsenden Rohstoffen aus Leichtnatursandwichplatten (LNS) mit Gründach aus Sedum. Ein gutes Stallklima hängt ab von der Beschaffenheit der Luft hinsichtlich der Temperatur und der Beladung mit den Gasen  $\text{CO}_2$  und  $\text{NH}_3$ . Die Fragestellung nach den Auswirkungen des Baustoffes auf das Stallklima führte zu dem Ansatz, die Temperatur und die Gaskonzentrationen innerhalb der Hütten zu messen. Hiermit verbunden ist letztlich die Frage nach den Emissionen aus den Hütten, die aber z. Z. messtechnisch nicht erfassbar sind. Um einen Anhaltspunkt für eine mögliche Umweltauswirkung zu erhalten, wurden im direkten Nahbereich um das Auslauf Passivsammler eingesetzt, um die  $\text{NH}_3$  Konzentration zu messen.

## 2 Material und Methoden

Bei dem Projekt handelt es sich um eine Hüttenhaltung mit Auslauf. Eine detaillierte Beschreibung der Anlage und der Versuchseinstellung findet sich bei GEORG et. al. [1]. Abbildung 1 zeigt den Lageplan der Anlage innerhalb des FAL-Geländes mit den Anordnung der Hütten, Fressplätze und des Baumbewuchses im Hinblick auf eine Beschattung einzelner Hütten. Aus der Abbildung ist auch die Positionierung der 6 Masten zur Aufnahme der Passivsammler und die Lage der Wetterstation ersichtlich.

Gemessen werden in den Hütten die Temperatur und die Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid und Ammoniak. Dazu kommt bewährte Messtechnik zum Einsatz:

- Temperaturfühler mit drahtloser Messwertübertragung [2]
- Multigasmonitor mit Multiplexer.

Während jede Hütte mit einem Temperaturfühler ausgestattet werden konnte und somit zeitgleich gemessen wird musste bei der Konzentrationsmessung der Gase eine Messstellenumschaltung mittels eines 5-kanaligen Multiplexers vorgenommen werden.

Hiermit konnten jeweils 2 Hütten und eine unbelastete Referenzmessstelle nacheinander gemessen werden. Nach einer Messzeit von 10 min wird mit Referenzluft gespült und zur nächsten Messstelle umgeschaltet. Wahlweise werden paarweise Hütten unterschiedlicher Bauart, aber auch gleicher Bauart an anderer Position untersucht.

Die Ammoniakmessungen in der Außenluft wurde mit Passivsammlern nach Ferm durchgeführt. Ihre Sammelwirkung beruht ausschließlich auf Diffusion. Mit Zitronensäure beschichtete Filter nehmen das Ammoniak auf, das dann nach einer Extraktion einer quantitativen Analyse zugeführt wird.

Die Sammler wurden im 14-tägigen Wechsel im Zeitraum vom 4.6.2003 bis 16.3.2004 ausgetauscht. Pro Mast sind stets 4 Sammler installiert. Eine detaillierte Zusammenstellung dieser Messtechnik findet sich bei Dämmgen [3].

Zur Aufnahme der Windgeschwindigkeit nach Betrag und Richtung wurde eine Wetterstation, ebenfalls mit telemetrischer Datenübertragung, eingesetzt. Weitere Wetterdaten stehen bei Bedarf über die Messstation des DWD auf dem FAL- Gelände zur Verfügung.

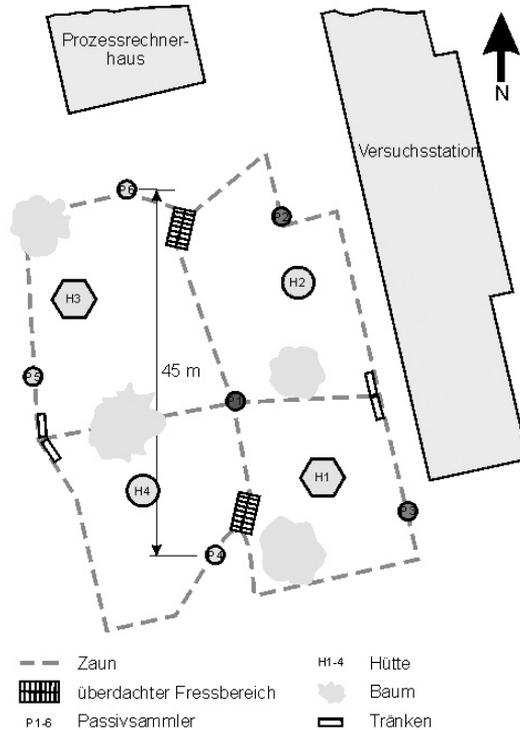


Abb. 1: Lageplan

### 3 Ergebnisse

Bei der Darstellung der Messergebnisse wird nur auf die  $\text{NH}_3$  und  $\text{CO}_2$  Konzentration in den Hütten und die  $\text{NH}_3$  Konzentration in der Außenluft des Umfeldes eingegangen.

Als wesentlicher Parameter zeigte sich die Außentemperatur. Sie wird im Zusammenhang mit den Ergebnissen dargestellt. Der Beurteilungszeitraum reicht von Juni 2003 bis Mai 2004. Der Temperaturverlauf bezieht sich auf Tagesmittelwerte.

In den Hütten variiert die Gaskonzentration zwischen 560 ppm und 890 ppm bei  $\text{CO}_2$  und 0,4–1,5 ppm bei  $\text{NH}_3$ . Für  $\text{CO}_2$  ergaben sich Momentanwerte mit deutlicher Überschreitung des Grenzwertes von 3000 ppm. Die  $\text{NH}_3$ -Konzentration blieb stets unter 10 ppm und damit unterhalb des in der Kälberverordnung [4] festgelegten Grenzwertes von 20 ppm.

Es konnten keine signifikanten Einflüsse des Hüttenmaterials festgestellt werden, wenn auch im Trend die LNS-Hütten geringere Konzentrationswerte aufwiesen als die Iglus. Für alle Hütten zeigte sich abhängig vom Temperaturverlauf im Herbst und Winter ein höheres Konzentrationsniveau als im Sommer.

Für  $\text{NH}_3$  liegen die Messergebnisse bereits an der unteren Grenze der Auflösbarkeit des Messsystems, so dass hier keine weiteren Aussagen über Kausalzusammenhänge möglich sind. Bezogen auf die Tierhygiene/-gesundheit sind die Werte als ohne Relevanz anzusehen.

Die Ergebnisse der Passivsammler zeigen insgesamt einen Wertebereich von ca.  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  bis ca.  $60\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf. Es sind örtliche Unterschiede feststellbar. Die Kurvenform, d. h. der Verlauf über der Jahreszeit, ist aber für alle Messorte annähernd gleich und entspricht im Großen und Ganzen der Temperatur, Abbildung 2 bis 4.

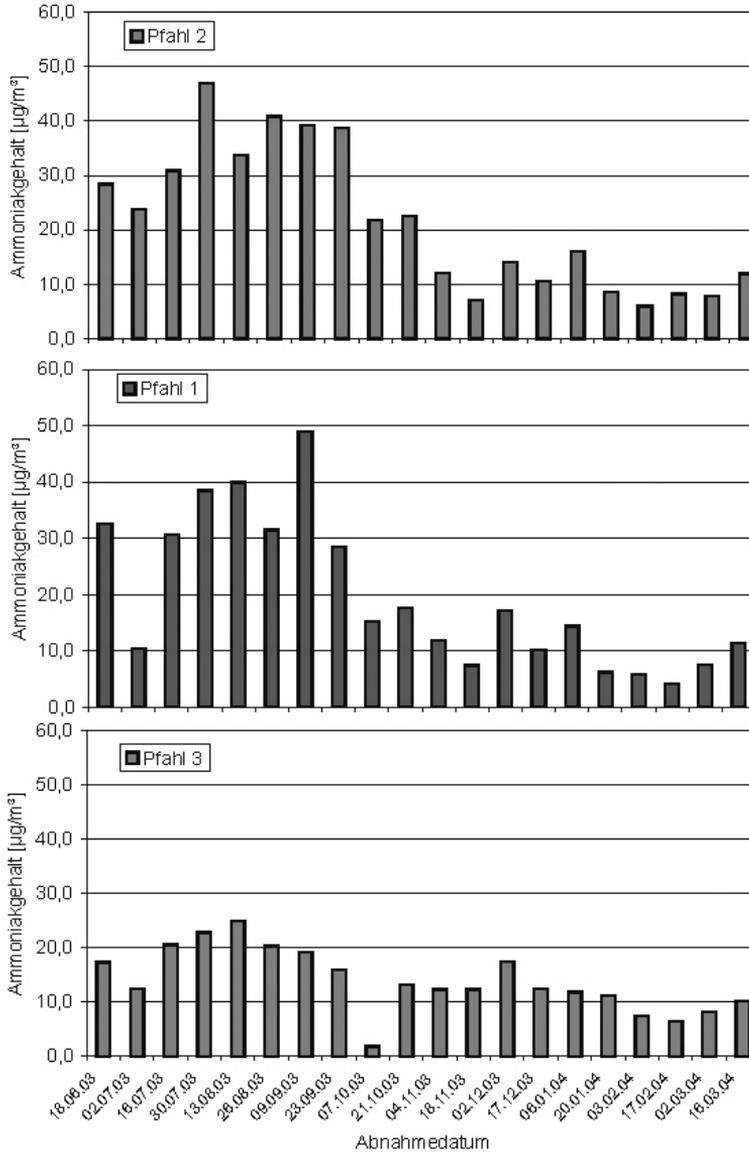


Abb. 2: Ammoniakbestimmung im Kälber-Auslauf: Jahresverlauf, Passivsammler an Pfahl 1–3

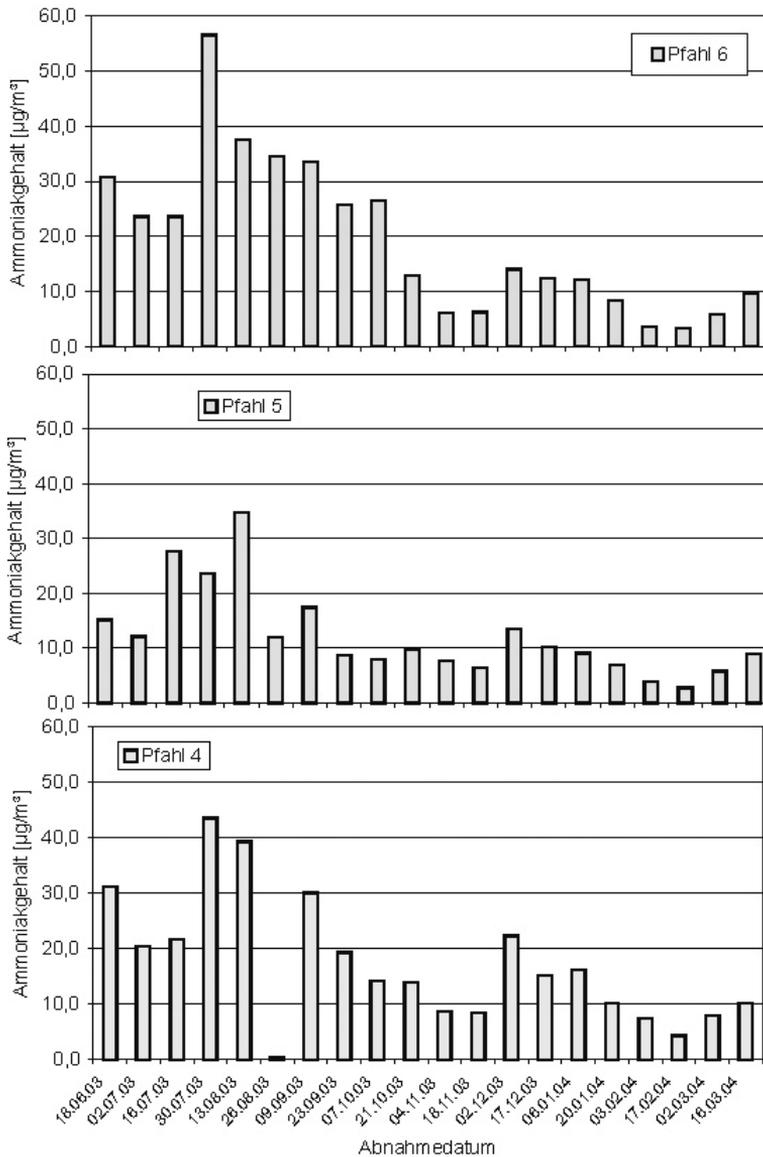


Abb. 3: Ammoniakbestimmung im Kälber-Auslauf: Jahresverlauf, Passivsammler an Pfahl 4–6

Nach Maxima im Juli/August fallen die Konzentrationswerte deutlich. Sie haben ihr Minimum im November. Das Konzentrationsniveau ist bezüglich einer Umweltrelevanz insgesamt noch niedrig einzustufen, insbesondere wenn berücksichtigt wird, dass direkt vom Bestand gemessen wurde. Zur Beurteilung einer Ammoniakbelastungssituation wurde in der Vergangenheit [5] ein Wert von  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für empfindliche landwirtschaftliche Nutzpflanzen herangezogen. Dieser Wert wurde im vorliegenden Fall nur an vereinzelter Position und auch nur kurzzeitig erreicht. In der gültigen TA-Luft [6] wird derzeit jedoch nur ein Grenzwert von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

für empfindliche Pflanzen und Ökosysteme angeführt. Dies erfordert gegebenenfalls die Einhaltung eines Mindestabstandes zwischen Tierhaltung und empfindlichen Ökosystemen. Eine Referenzmessstelle, die auf dem Ackergeländer der FAL in einem Abstand von etwa 400 m von der Kälberhaltung angeordnet ist, ergab im Jahresverlauf stets Werte niedriger als  $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

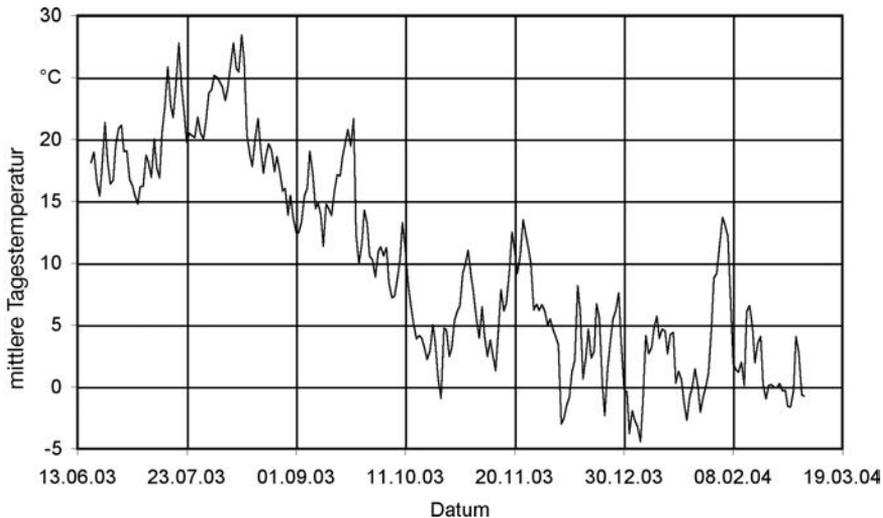


Abb. 4: Tagesmittelwerte der Umgebungstemperatur

## 4 Literatur

- [1] GEORG, H.; UDE, G.; MÖLLER, F.; WIELAND, H. (2004) Kälberhütten – Alternativen zu GfK und PE. Bio-Land (5): S. 17–18.
- [2] PHILIPS, V. R. et al. (1998): The Development of Robust Methods for Measuring Concentrations and Emission Rates of Gaseous and Particulate Air Pollutants in Livestock Buildings. Special Issue. J. Agric. Eng. Res. 70 (1), pp. 3–11.
- [3] DÄMMGEN, U. (2001): Messung mittlerer Ammoniak-Konzentrationen mit Passivsammlern. KTBL-Schrift 401. Messmethoden für Ammoniak-Emissionen. S. 61–68.
- [4] Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung-Tier-SchNutzV) vom 25. Oktober 2001.
- [5] LAI (1995): Bewertung von Ammoniak- und Ammonium- Immissionen. Schriftenreihe des LAI, Band 11, Erich Schmidt Verlag.
- [6] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft-TA Luft. GMBL 2002, Heft 25–29, S. 511–605.

## Schäden am Integument von Milchkühen – Einfluss von Einstreu auf die Gelenkgesundheit bei Milchkühen

### *Joint lesions by dairy cows – influence of bedding material*

HARALD KÖGLER<sup>1</sup>, HANS-JOACHIM HERRMANN<sup>1</sup>, HARALD REUBOLD<sup>1</sup>,  
BERNHARD HAIDN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel, D-64823 Groß-Umstadt

<sup>2</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** Milchkühe, Haltungssystem, Liegeboxen, Läsionen, Einstreumaterialien  
**Keywords:** Dairy cows, housing system, cubicles, lesions, litter materials

### **Zusammenfassung**

*In der vorliegenden Untersuchung wurde erfasst, wie sich unterschiedliche Einstreumaterialien (Strohmehl, Strohhacksel, Sägemehl und keinerlei Einstreu) auf einer Weichbodenmatte für Hochboxen und die Strohmistmatratze in Tiefboxen auf die Gesundheit ausgewählter Gliedmaßengelenke bei Milchkühen auswirken. Dazu wurden am Ende der Winterfütterungsperiode 2457 laktierende Milchkühe in 56 Betrieben mit Liegeboxenlaufstall untersucht.*

*Die Auswertung der Ergebnisse ergab, dass beide Liegeboxensysteme an den Tieren Schäden aller Kategorien hervorrufen. Für die in dieser Arbeit untersuchte Weichbodenmatte ist unter Einbeziehung aller erfassten Gelenke Strohmehl als Einstreu der Vorzug zu geben, da an den am häufigsten von Verletzungen betroffenen Karpal- und Tarsalgelenken im Vergleich zu den anderen Einstreuvarianten der Weichbodenmatte signifikant weniger Schäden auftraten ( $P < 0,05$ ).*

### **Summary**

*This study investigated how different litter materials (ground straw, chopped straw, sawdust and no litter) applied on a soft lying mat for cubicles and how straw-manure packs for cubicles impact the health status of different joints by dairy cows. Therefore 2457 lactating dairy cows housed in 56 different free-stall barns were examined at the end of winter indoor-housing.*

*Looking closely at the results revealed that both cubicle systems cause injuries of all categories. By taking all examined joints into account it can be concluded that ground straw is the most favourable litter material on the soft-lying mat used in this study. Since the prevalence of injuries concerning carpal joints and hocks was in comparison to the other litter materials significantly lower ( $P < 0.05$ ).*

## 1 Einleitung

Eine sinnvolle Verbindung von Haltungstechnik – unter Berücksichtigung des Tierverhaltens – und guter tierhalterischer Qualifikation des Betreuungspersonals bildet die Grundlage für eine wirtschaftliche Milchkuhhaltung, die mit einer Vermeidung von Tierschäden einhergeht. Durch die exakte Erfassung des Gesundheitszustandes von Milchkühen in Abhängigkeit der speziellen Haltungsumgebung ist es möglich, Hinweise für Verbesserungsansätze bei der Haltung zu geben.

Im Liegeboxenlaufstall ist der Liegeboxenbelag von zentraler Bedeutung, da er einer Vielzahl von Anforderungen wie Wärmedämmung, Weichheit, Verformbarkeit, Trittsicherheit und Haltbarkeit genügen muss [1, 3, 5, 6]. Technopathien äußern sich im Falle des Funktionsbereichs Liegen in Form von Hautläsionen an den Gelenken der Extremitäten. Dass diese zum Teil vermeidbar sind, zeigen Ergebnisse von Untersuchungen auf Strohmistmatratzen [10].

Durch mangelnde Verfügbarkeit von Stroh, aber auch auf Grund von arbeitswirtschaftlichen und gesundheitlichen Bedenken gegenüber der Keimbelastung von Strohmistmatratzen seitens der Landwirte, kommen v. a. weiche, industriell gefertigte Liegebeläge in Kombination mit Hochboxen zum Einsatz. Da es auf diesen Liegebelägen vermehrt zu Hautläsionen kommt [4, 9], empfiehlt die DLG eine Minimaleinstreu für die von ihr getesteten Bodenbeläge.

Daher wurde in der vorliegenden Untersuchung, der Einfluss eines verschiedenartig eingestreuten Komfortbelags auf die Gelenkgesundheit der Extremitäten erfasst. Zum Vergleich wurde der Einfluss der Strohmistmatratze auf das Entstehen von Hautläsionen an den Gelenken untersucht, um somit Zusammenhänge zwischen Läsionen und unterschiedlichen Einstreumaterialien aufzuzeigen.

## 2 Material und Methoden

Im Rahmen der Untersuchungen wurden am Ende der Winterfütterungsperiode in 56 milchkuhhaltenden Betrieben Daten erhoben. Erfasst wurden Betriebs- und Stallparameter, sowie Schäden an ausgewählten Gelenken der Tiere.

Bei 41 der untersuchten Betrieben handelte es sich um Liegeboxenlaufställe mit Hochboxen, Weichbodenmatte (Deckbelag 12 mm Vollgummimatte, Einlage Spezialschaumstoff 22 mm) gleichen Fabrikats und unterschiedlichen Einstreumaterialien (15 Betriebe mit Strohmehl (Halmgut mit einer Länge  $\leq 10$  mm), sechs mit Strohhäcksel (Halmgut mit einer Länge zwischen 30–50 mm), zehn mit Sägemehl und 15 mit keinerlei Einstreu). In den restlichen 15 Betrieben wurden die Milchkühe auf Tiefboxen mit Strohmistmatratze aufgestellt. Das installierte Boxensystem, der Liegeboxenbelag, sowie die Einstreu waren in den jeweiligen Ställen gleich. Die vorgefundene Boxenausführung hatte seit mindestens einem Jahr Bestand. Die erfassten Tiere waren seit mindestens sechs Monaten in den betreffenden Liegeboxenlaufställen aufgestellt, weder neu zugekauft, verletzt oder trockenstehend.

Mittels einer adspektorischen Untersuchung der Milchkühe, deren Durchführung in allen 56 Betrieben derselben Person oblag, wurden Veränderungen an Haut und Gelenken erfasst. Dabei wurden die an Fesseln, Knie, Karpal- und Tarsalgelenken gefundenen Schäden je nach Schweregrad in folgende Kategorien eingestuft: „haarlose Stelle  $<$  bzw.  $>$  2 cm“, „Hautabschürfung  $<$  bzw.  $>$  2 cm“ und „Umfangsvermehrung im Schleimbeutelbereich“, wobei je

Gelenk nur der gravierendste Schaden erfasst wurde. Die Auswertung erfolgte mittels nicht-parametrischen Tests (Kruskal-Wallis H-Test, Mann-Whitney U-Test).

### 3 Ergebnisse

Von den 2457 bonitierten Kühen, wurden 1178 Tiere in Weichbett-Betrieben und 679 in Strohmistmatratzen-Betrieben gehalten. Bei einer Auswertung aller 24570 bonitierten Gelenke zeigt sich, dass 95 % der Gelenke von Kühen auf Strohmistmatratzen ohne Befund waren. Bei Tieren auf verschiedenartig eingestreuten Weichbetten zeigten mindestens 81 % der untersuchten Gelenke keinerlei Verletzung (Tab. 1).

Tab. 1: Befunde an den bonitierten Gelenken in Prozent

Kategorie Variante	ohne Befund [%]	haarlose Stellen [%]	Hautabschürfungen [%]	Umfangvermehrungen [%]
Strohmistmatratze	94,5	5,3	0,18	0,02
<b>Weichbett</b>				
Ohne Einstreu	81,2	15,7	2,7	0,4
Strohmehl	88,2	10,5	1,1	0,2
Strohhäcksel	81,6	16,3	1,5	0,6
Sägemehl	84,4	13,9	1,6	0,1

Die Zahl der Sprunggelenke ohne Befund ist im Vergleich zu den anderen Gelenkbereichen stark reduziert (Tab. 2).

Tab. 2: Verteilung der verletzten Gelenke in Prozent

Gelenk Variante	Vorderfessel [%]	Carpus [%]	Knie [%]	Tarsus [%]	Hinterfessel [%]
Strohmistmatratze	2,1	4,1	0,2	13,0	8,2
<b>Weichbett</b>					
ohne Einstreu	12,0	11,4	4,4	44,8	21,9
Strohmehl	7,0	3,7	2,1	39,8	6,2
Strohhäcksel	11,5	20,9	2,3	43,3	13,8
Sägemehl	9,3	8,8	2,9	45,6	12,2

Nur durchschnittlich 57 % der Tarsalgelenke auf Weichbetten wiesen keinen Befund auf, bei der Variante Strohmistmatratze waren es 87 % (Tab. 2). Da es sich im Falle des Tarsalgelenks um das im Rahmen dieser Untersuchung strapazierteste Gelenk handelt, ist zur Veranschaulichung in Tab. 3 die statistische Verrechnung der gefundenen Veränderungen mittels U-Test nach Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ) dargestellt.

Tab. 3: Verteilung der verletzten Tarsalgelenke [n = 4914]

	ohne Einstreu [n = 1258]	Strohmehl [n = 774]	Strohhäcksel [n = 660]	Sägemehl [n = 864]	Strohmistmatratze [n = 1358]
haarlose Stelle Ø < 2cm	205a	151ab	135b	193ab	132c
haarlose Stelle Ø > 2cm	195a	112a	107a	135a	34b
Hautabschürfung Ø < 2cm	116a	36b	28bc	60ac	9d
Hautabschürfung Ø > 2cm	26a	4ab	10ab	3b	
Umfangs- vermehrung	22a	5a	6a	3a	2a
Σ verletzte Gelenke	564	308	286	394	177
ohne Befund	694a	466a	374a	470a	1181b

a,b,c,d Gruppen ohne gleiche Buchstaben unterscheiden sich signifikant (MWT, p < 0,05)

Unter den 4914 untersuchten Sprunggelenken fanden sich bei allen Varianten hochgradige Veränderungen in Form von Umfangsvermehrungen. Die statistische Auswertung dieser Schadenskategorie ergab keine signifikanten Unterschiede.

## 4 Diskussion

Bei der Einordnung der festgestellten Schäden gilt es zu berücksichtigen, dass Hochboxen v. a. im hinteren Teil der Box eingestreut werden. Im Kontaktbereich mit den Karpalgelenken war die Einstreuschicht in den untersuchten Weichbodenmatten-Betrieben entweder nur sehr dünn, lückenhaft oder fehlte gänzlich. BOXBERGER [2] konnte zeigen, dass während des Abliege- bzw. Aufstehvorgangs bis zu 87 % des Körpergewichtes, dies entspricht einer Kräfteinwirkung von 4000–5000 N, auf den Karpalgelenken lasten. Folglich würde auch eine im Bereich der Karpalgelenke ausreichend vorhandene Einstreu im Falle von industriell gefertigten Liegebelägen den Druck auf die Gelenke nur unwesentlich verringern. Die viel größere Rolle spielt hier die Härte (Plastizität, Elastizität) des Liegeboxenbelages.

Bei den Veränderungen am Tarsalgelenk ist im Vergleich zu den Veränderungen an den anderen untersuchten Gelenken eine deutliche Zunahme der verletzten Gelenke in allen Schadenskategorien festzustellen. Somit scheint das Sprunggelenk das Gelenk zu sein, bei dem sich die Qualität des Einstreumaterials am stärksten bemerkbar macht. Dies erklärt auch, warum sich in jüngster Zeit Untersuchungen zu Hautläsionen an exponierten Gelenken bei Milchkühen auf den Tarsus konzentrieren [4, 8, 9]. Das Bundesamt für Landwirtschaft in der Schweiz gewährt seine Direktzahlungen im Rahmen des Programms "Besonders Tierfreundliche Stallhaltungssysteme" (BTS) nur für Liegematten, die bezüglich der Häufigkeit und des Schweregrades von Verletzungen an den Tarsalgelenken der Kühe, aber auch hinsichtlich der Verformbarkeit des Fabrikates gewissen Richtlinien entsprechen [11].

Die im Verlauf dieser Arbeit erarbeiteten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sowohl ein industriell gefertigter, weicher Liegebelag als auch eine weiterentwickelte Tiefbox mit Strohmatratze Schäden in Form von haarlosen Stellen, Hautabschürfungen und Umfangsvermehrungen an den Gelenken der Extremitäten von Milchkühen hervorrufen können. Kühe auf Strohmatratzen wiesen im Vergleich zu Tieren auf der verschiedenartig eingestreuten Weichbodenmatte insgesamt weniger Gelenkschäden auf; ist allerdings keine stabile Strohmatratze gewährleistet, sollte im Sinne der Tiere und der leichteren Handhabung auf die Hochbox mit verformbarem Belag und Einstreu zurückgegriffen werden. Die Nachteile des weichen Liegebelages gegenüber der Strohmatratze sind offensichtlich in andersartiger Oberflächenstruktur, aber auch in der unterschiedlichen Weichheit begründet. Daraus ergibt sich für diese Art des Liegebelags ein Optimierungspotential.

So führt der Einsatz von Einstreu teilweise zu einer deutlichen Verringerung der Schadenshäufigkeit an den untersuchten Gelenken, aber auch zu einem herabgesetzten Schädigungsgrad. Bei der Wahl der Einstreu für die hier untersuchte Weichbodenmatte ist unter Einbeziehung aller untersuchten Gelenke, Strohmehl der eindeutige Vorzug zu geben, insbesondere im Falle der mittel- und hochgradigen Veränderungen. Das sehr gute Wasseraufnahmevermögen von Strohmehl unterstreicht diesen Vorzug zusätzlich [7].

Neben dem maßgeblichen Einfluss des Liegeboxenbelages und der Einstreu auf die Gelenkgesundheit von Milchkühen sind aber auch andere Einflussgrößen so zu verbessern, dass eine Reduzierung der Schadensrate erreicht wird. Vor allem eine ausreichende Boxendimensionierung ist für die Vermeidung von Hautläsionen grundlegend. Als weitere Einflüsse auf den Zustand der Gelenke müssen Weidegang, Herdengröße, Alter der Tiere und unterschiedliche Aufstallungsarten im Laufe des Produktionszyklus berücksichtigt werden.

## 5 Literatur

- [1] BICKERT, W. G. (2000): Freestall Design. Proceedings: Dairy Housing & Equipment systems: Managing & Planning for Profitability. NRAES, Ithaca, New York, pp. 205–213.
- [2] BOXBERGER, J. (1983): Wichtige Verhaltensparameter von Kühen als Grundlage zur Verbesserung der Stalleinrichtung. Habilitationsschrift TUM Weihenstephan, Fachgebiet Landtechnik.
- [3] KRAMER, A. J.; HAIDN, B.; SCHÖN, H. (1998): Untersuchungen zur Verfahrenstechnik „natur-naher“, eingestreuter Stallsysteme unter besonderer Berücksichtigung der Eigenschaften und Wirkungsweisen von Einstreumaterialien auf das Funktionieren des Haltungsverfahrens. Hrsg.: Landtechnik Weihenstephan.
- [4] MOWBRAY, L.; VITTIE, T.; WEARY, D. M. (2003): Hock Lesions and Freestall Design: Effects of Stall Surface. Proceedings: Fifth International Dairy Housing Conference Fort Worth, Texas, January 29-31 2003 Publ.: American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, pp. 288–295.
- [5] RODENBURG, J.; HOUSE, H. (2000): The Impact of Freestall Base and Bedding on Cow Comfort. Proceedings: Meeting-129 Natural Resource, Agriculture and Engineering Service (NREAS): Dairy Housing and Equipment Systems: Managing and Planning for Profitability, Camp Hill, Pennsylvania, pp. 214–225.
- [6] SAMBRAUS, H. H.; SCHÖN, H.; HAIDN, B. (2002): Tiergerechte Haltung von Rindern. In: Methling, W., Unshelm, J. (Hrsg.): Umwelt- und tiergerechte Haltung von Nutz- Heim- und Begleittieren. Berlin. Blackwell Wissenschafts-Verlag, pp. 281–332.

- [7] SONNENBERG, H. (2002): Mechanische Aufbereitung von Einstreu-Material für die Tierhaltung zur Verbesserung der Qualität. Dissertation Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik.
- [8] VOKEY, F. J.; GUARD, C. L.; ERB, H. N.; GALTON, D. M. (2001): Effects of Alley and Stall Surfaces on Indices of Claw and Leg Health in Dairy Cattle Housed in a Free-Stall Barn. *Journal of Dairy Science* 84, pp. 2686–2699.
- [9] WEARY, D. M.; TASZKUN, I. (2000): Hock Lesions and Freestall Design. *Journal of Dairy Science* 83, pp. 697–702.
- [10] WECHSLER, B.; SCHAUB, J.; FRIEDLI, K.; HAUSER, R. (2000): Behaviour and Leg Injuries in Dairy Cows kept in Cubicle systems with Straw bedding or soft Lying mats. *Applied Animal Behaviour Science* 69, pp. 189–197.
- [11] WIDMER, C. (2002): Beurteilung von verformbaren Liegematten hinsichtlich des Programms besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme (BTS). Öffentliche Mitteilung des Bundesamts für Landwirtschaft, Bern.

## **Einfluss von Tränkestandgestaltung und angereicherter Haltungsumgebung auf das gegenseitige Besaugen von Kälbern in Gruppenhaltung** *Effect of a modified feeding station and environmental enrichment on cross-sucking behaviour of group-housed dairy calves*

**GRACIA UDE, HEIKO GEORG**

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Kälbergruppenhaltung, gegenseitiges Besaugen, Tränkeperiode, Tränkeautomat  
**Keywords:** *Cross-sucking, group-housed dairy calves, automatic teat feeder*

### **Zusammenfassung**

*Automatische Tränkesysteme für Kälber ermöglichen eine physiologisch günstige Verteilung der Milchmenge auf mehrere Mahlzeiten am Tag. Die Milchaufnahme erfolgt allerdings sehr schnell, so dass der Saugreiz der Tiere zumeist nicht befriedigt werden kann. Die Kälber reagieren sich durch gegenseitiges Besaugen oder Scheinsaugen ab, mit zum Teil negativen Auswirkungen auf Euteranlagen und Nabel. Ziel dieses Projekts war die Reduzierung des gegenseitigen Besaugens durch eine veränderte Tränkestandgestaltung und eine angereicherte Haltungsumgebung. Die Ergebnisse aus den Direktbeobachtungen zu unterschiedlichen Verhaltensweisen belegen, dass eine signifikante Reduzierung des gegenseitigen Besaugens durch den automatisch verschließbaren Tränkestand in Kombination mit einem angereicherten Nachtränkebereich erzielt werden kann.*

### **Summary**

*Automatic teat feeders for dairy calves deliver milk in small quantities all over the day, which is close to a natural feeding situation. Besides that, milk intake is very fast, so that the need of calves to suck cannot be satisfied. Calves react with cross-sucking or other non-nutritive sucking. One major goal of the project presented here was the reduction of cross-sucking by a modified feeding station and environmental enrichment. First results show that a significant reduction can be achieved by using automatic doors to protect calves in the feeding station and enable controlled access to an enriched rest area immediately after milk-feeding.*

## 1 Einleitung

Bei der Gruppenhaltung von Kälbern besteht in der Praxis das Problem, dass sich die Tiere nach der Milchaufnahme häufig gegenseitig besaugen. Das Besaugen kann dazu führen, dass sich Haarballen im Magen der Tiere bilden, Euteranlagen dauerhaft geschädigt werden oder Nabelentzündungen entstehen. Als Ursache für das gegenseitige Besaugen von Kälbern nach einer Milchmahlzeit wird vorwiegend der nicht befriedigte Saugtrieb der Kälber genannt. Dabei nimmt die Häufigkeit des Besaugens sowohl mit zeitlichem Abstand zur Milchaufnahme als auch nach dem Absetzen der Milch ab (LIDFORS 1993, DE PASSILLÉ et. al., 1992). Eine Reduzierung des Besaugens kann bei der Eimertränke z. B. durch den Einsatz eines schwergängigen Nuckels, der den Tränkevorgang verlängert (GRAF et. al. 1989), das Fixieren der Kälber nach dem Tränken für bis zu 10 min (KITNER & KURZ 1967, Sambraus 1984) oder durch eine hohen Umweltkomplexität (KEIL et. al., 2001) erfolgen. In Verbindung mit dem Tränkeautomaten reduzieren z. B. verschließbare Tränkestände, die in unterschiedlicher Form realisiert wurden und nach der Tränke ein „Leersaugen“ ermöglichen (WENDEL et. al., 1998; WURZINGER, 1999; WEBER, 1998) oder die Zufütterung von 1–2 g Glucose je Liter Milchaustauscher-Tränke (EGLE et. al., 2001) das gegenseitige Besaugen. Alternativ wird der Einfluss eines neu entwickelten Bionickuckels mit tierindividueller Strömungsgeschwindigkeit des Milchflusses untersucht (ZERBE, 2003).

## 2 Zielsetzung

Die Problematik des gegenseitigen Besaugens von Kälbern wurde in Form eines Teilprojekts zur ökologischen Kälbergruppenhaltung, gefördert durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen des Bundesprogramms ökologischer Landbau, aufgegriffen. Als (Teil-) Ziel wurde definiert, das gegenseitige Besaugen als unnatürliche Verhaltensweise durch Veränderungen der Haltungsumgebung zu reduzieren. Als Maßnahme zur Reduzierung des Scheinsaugens wird daher bei der optimierten Kälbergruppenhaltung in Ergänzung zu einem automatisch verschließbaren Tränkestand untersucht, wie sich das Angebot von Heunetz und Nuckeleimer unmittelbar nach dem Tränkestand (Verlassen des Tränkestands in einen Nachtränkebereich mit o. g. Angebot und Rücklaufklappe) auswirkt. Durch die räumliche Entzerrung und Gestaltung sollen die Kälber vom Besaugen der Artgenossen durch die Reizumleitung auf das Nuckelangebot und Heu abgelenkt werden.

## 3 Versuchsaufbau

Die Untersuchung wurde in einem Kaltstall der FAL-Braunschweig durchgeführt. Die Firma Förster (Engen) stellte einen Tränkeautomaten mit vier Tränkeständen und automatischem Fiebermesssystem zur Verfügung, so dass für vier Kälbergruppen gleichartige Tränkebedingungen bestanden. Um die Sensorik zur Fiebermessung zu schützen, waren die Nuckel durch einen Schieber verschlossen, der sich nur öffnete, wenn ein Kalb Anrecht hatte.

Die Kontrollgruppe hatte eine Zweiflächenbucht mit Tiefstreu zur Verfügung. Der erhöhte Fressbereich bestand aus einem mechanisch verschließbaren Tränkestand nach [7], einem Kraffutterstand, einer Heuraufe und einer Wassertränke.

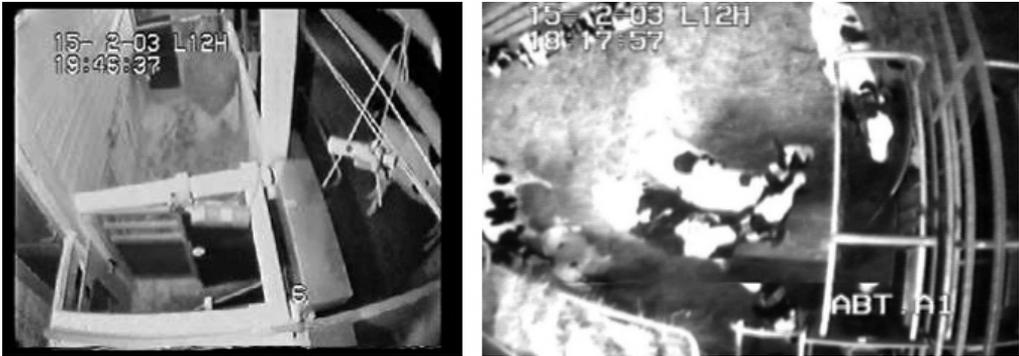


Abb. 1: Die linke Bildhälfte zeigt den optimierten Tränkestand mit automatisch verschließbaren Türen (a) und Nachtränkebereich mit Heunetz (b) und Nuckeleimer (c), rechts ist die konventionelle Gruppe mit mechanisch verschließbarem Tränkestand (d) und Zweiflächenbucht (e) zu sehen

In der optimierten Gruppenhaltung wurde der Liegebereich räumlich vom Fressbereich getrennt. Der Fressbereich konnte ausschließlich durch einen strukturierten Auslauf erreicht werden. Der Tränkestand war mit pneumatischen Türen verschließbar. Über einen speziell programmierten Mikroprozessor wurden die Türen angesteuert und verschlossen, wenn das Kalb Anrecht hatte. Nach der Tränke schloss sich der Schieber wieder und gleichzeitig öffnete sich die seitliche Tür des Tränkestandes. Hatte das Kalb den Tränkestand verlassen, schloss sich die seitliche Tür und anschließend öffneten sich die hinteren Türen. Die Funktionssicherheit der Türen wurde durch zwei Lichtschranken geprüft.

Das Kalb wurde über die seitliche Tür des Tränkestandes in einen separaten kleinen Stallbereich geführt, der nur nach einem erfolgreichen Tränkebesuch erreichbar war. Dieser Nachtränkebereich war mit einem Nuckeleimer mit drei geschlossenen Blindnuckeln und einem Heunetz, das mit einem Heubund befüllt wurde (s. Abbildung 1), ausgestattet. Die Kälber konnten selbst entscheiden, nach welcher Zeit sie über eine manuelle Rücklaufklappe in die Gruppe zurückgehen wollten.

Die Liegefläche betrug in beiden Haltungsvarianten  $2,25 \text{ m}^2$  je Kalb, der Fressbereich umfasste  $1 \text{ m}^2$  /Kalb, lediglich bei der optimierten Gruppenhaltung kam noch  $20 \text{ m}^2$  Auslauffläche/Kalb hinzu.

Für den Versuch standen ausschließlich weibliche Kälber der Rasse deutsche Holstein zur Verfügung. Die Aufstallung der Kälber erfolgte im Alter von 2-4 Wochen, die Kälber wurden von einem landwirtschaftlichen Betrieb ausgeliehen. Die Gruppengröße betrug 12 Kälber je Gruppe, bei 6 Wiederholungen wurde der Versuch mit insgesamt 144 Kälbern durchgeführt. Zeitgleich konnten 4 Gruppen parallel aufgestellt werden.

Bei allen Gruppen wurde Frischmilch gemäß EU-Ökoverordnung über 12 Wochen vertränkt. Zu Beginn der Tränkeperiode betrug die Tränkemenge je Kalb und Tag  $7 \text{ l}$  und reduzierte sich nahezu kontinuierlich auf  $2,5 \text{ l}$ .

#### 4 Datenaufnahme und Auswertemethodik

Die Datenaufnahme erfolgte über Direktbeobachtungen. Jedes Kalb wurde 20 min im Anschluss an die Abendmahlzeit, alle zwei Wochen zwei Abende in Folge beobachtet.

Die erfassten Verhaltensparameter umfassten unter anderem die Merkmale gegenseitiges Besaugen, Besaugen von Stalleinrichtung, Verweildauer in den Funktionsbereichen, Zeiten für Kraftfutter und Raufutteraufnahme. Die folgenden statistischen Auswertungen und Ergebnisdarstellungen beschränken sich auf die Parameter gegenseitiges Besaugen, Verweildauer im Tränkestand und Verhalten der Kälber im Nachtränkebereich. Die Daten der Direktbeobachtungen wurden mit dem Statistikpaket SAS (8.1) aufbereitet und geprüft.

## 5 Ergebnisse

Für das Merkmal „gegenseitiges Besaugen“ konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der optimierten Gruppenhaltung nachgewiesen werden. Für den Test wurde auf parameterfreie Verfahren (Kruskal-Wallis) zurückgegriffen, da die Voraussetzung der Normalverteilung, die mit dem Shapiro-Wilks-Test geprüft wurde, nicht gegeben war.

Mit den gleichen statistischen Verfahren wurde auch geprüft, ob Unterschiede zwischen den Gruppen für sonstige Besaugaktivitäten bestehen. Gemeint sind das Besaugen/Beknabbern von Stalleinrichtungen und Holzabtrennungen. In diesem Fall konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen nachgewiesen werden. In Abbildung 2 ist das Ergebnis für das Merkmal gegenseitiges Besaugen grafisch dargestellt. Für die optimierte Haltungsvariante konnte gezeigt werden, dass mit zunehmendem Alter der Kälber der beruhigte Bereich interessanter wird, so dass sie sich länger dort aufhalten. Die Dauer des Aufenthalts beträgt in der Altersgruppe 3 im Durchschnitt etwa 7 Minuten. Im Gegenzug nimmt die im Vergleich zur konventionellen Variante ohnehin schon geringe Verweildauer der Kälber im Tränkestand nach der Milchaufnahme entsprechend ab (s. Abbildung 3). Bezogen auf die Art der Aktivitäten im beruhigten Bereich wird mit zunehmendem Alter der Nuckeleimer attraktiver im Vergleich zum Heunetz.

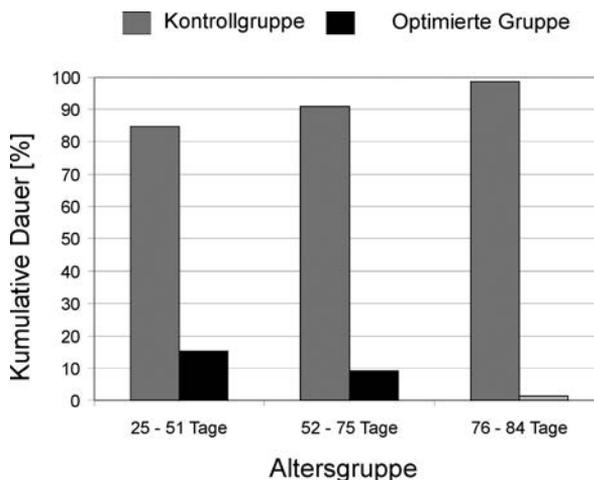


Abb. 2: Anteile der Haltungsvarianten an der Gesamtdauer für das Merkmal gegenseitiges Besaugen bezogen auf unterschiedliche Altersklassen der Kälber

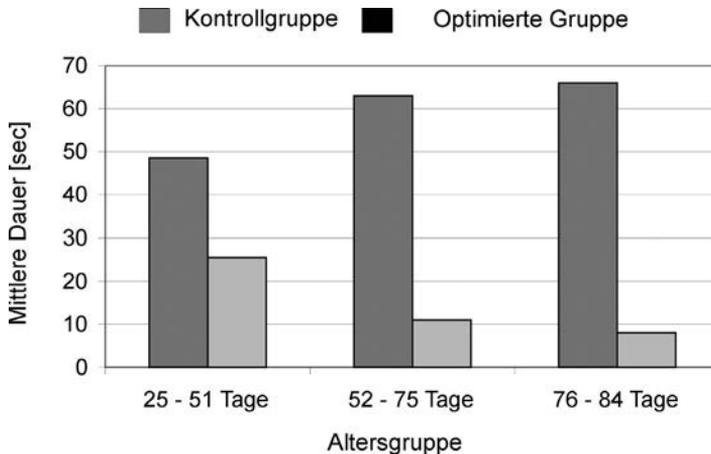


Abb. 3: Verweildauer im Tränkestand nach der Milchaufnahme für verschiedene Alterstufen der Kälber

## 6 Fazit

Auf der Basis der dargestellten Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass durch baulich-technische Veränderungen des Tränkestands und einen angereichert ausgestatteten Nachtränkebereich eine nachweisbare Minderung des gegenseitigen Besaugens von Aufzuchtälbern im Anschluss an die Milchaufnahme erzielt werden kann.

## 7 Literatur

- LIDFORS, L. M. (1993): Cross-sucking in group-housed dairy calves before and after weaning of milk. *Applied Animal Behaviour Science* 38, 15–24.
- DE PASSILLE, A. M. B.; METZ, J. H. M.; MEKING, P.; WIEPKEMA, P. R. (1992): Does drinking milk stimulate sucking in young calves? *Applied Animal Behaviour Science* 34, 23–36.
- GRAF, B.; VERHAGEN, N.; SAMBRAUS, H. H. (1989): Reduzierung des Ersatzsaugens bei künstlich aufgezogenen Kälbern durch Fixierung nach dem Tränken oder Verlängerung der Saugzeit. *Züchtungskunde* 61, 384–400.
- KITTNER, M.; KURZ, H. (1967): Ein Beitrag zur Frage des Verhaltens der Kälber unter besonderer Berücksichtigung des Scheinsaugens. *Archiv für Tierzucht* 10 (1), 41–60.
- SAMBRAUS, H. H. (1984): Vor- und Nachteile moderner Haltungssysteme beim Rind aus Sicht des Ethologen. *Tierärztliche Umschau* 5, 399–404.
- KEIL, N. M.; ZWICKY, U; SCHRADER, L. (2001): Einfluss der Umweltkomplexität auf Verhalten und gegenseitiges Besaugen von Aufzuchtälbern in Gruppenhaltung. In: *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung*, KTBL Darmstadt, 76–83.
- WENDL, G.; SCHUCH, S.; CALLIAN, B.; WENDLING, F. (1998): Besaugen verhüten. *Landtechnik* 4/98. 53. Jahrgang. 264–265.
- WURZINGER, E. (1999): Saloon-Türen für die Kälbertränke. *DLZ* 9/99, 100–103.
- WEBER, R. (1998): Verschließbarer Tränkestand für Kälber. *FAT-Bericht* Nr. 527.

EGLER, B.; FRÜH, B.; RICHTER, Th.; VON BORELL, E. (2001): Saugbremse einmal anders. dlz 5/01. 100–103

ZERBE, F.-D. (2003): Tränketchnik für Kälber auf dem Prüfstand. Jahresbericht Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft 2003, 97–98

# The Use of Vision Techniques in the Development of a New Housing System for Dairy Cows

## *Der Gebrauch von Videotechnik bei der Entwicklung eines neuen Haltungssystems für Milchvieh*

HENDRIK JAN VAN DOOREN, GERRIT DIJK, WICHERT KOOPMAN, NICO VERDOES

Animal Sciences Group, Wageningen-UR, PO-Box 65, 8200 AB, Lelystad, The Netherlands

**Keywords:** Housing, dairy cattle, vision techniques, development

**Schlüsselwörter:** Haltungssystem, Milchvieh, Bildanalyse, Videotechnik, Entwicklung

### Summary

Compared to a cubicle system a deep litter housing system for dairy cows has several positive aspects mainly in the field of animal welfare and claw health. However, due to high litter consumption, labour need and reduced udder health it never became a wide spread housing system in Western Europe. When faeces are removed from the layer of litter this system however can compete with cubicle systems. But manual removal of the faeces is not an option and an automatic system is not available. This paper describes the development of a device that detects and removes faeces in a straw bedding. That process can be divided into two main steps:

- Selection and development of detection technique
- Implementation of detection technique in a working pilot scale model

The Vision technique has been chosen to detect the faeces based on colour and shape characteristics. The technique is already available but needs adaptation to specific circumstances resulting in coordinates of the faeces. Eventually, based on these coordinates a PLC executes and controls the necessary actions to grab the faeces. A program for communication between Vision and PLC has been developed. A pilot version is tested on a organic research farm but needs further development - preferably in cooperation with a business partner.

### Zusammenfassung

Im Vergleich mit Laufställen bietet ein Tretniststall Vorteile für das Wohlbefinden und die Klauengesundheit der Tiere. Er hat Nachteile was die Hygiene, Kosten und Arbeit für das Einsteuern angeht. Wird der Kot allerdings sofort entfernt erhält man eine neue Haltungssystem mit grossen Vorteilen für Tier und Landwirt. Eine manuelle Entmistung kommt aber nicht im Frage und eine automatische Variante gibt es noch nicht. Dieser Beitrag beschreibt die Entwicklung eines Systems zur automatischen Erkennung und Entfernung von Mist aus der Einstreu. Die Erkennung basiert auf vorhandener Videotechnik und Software zur Bildanalyse, die auf die spezifischen Bedingungen im Stall angepasst wurde. Das Ergebnis sind die Koordinaten der Miststellen. Eine Pilotversion wurde bereits mit Erfolg unter Praxisbedingungen getestet. Für die weitere Entwicklung wird die Kooperation mit einem Industriepartner gesucht.

## 1 Introduction

The free stall system is the most common housing system for dairy cows in The Netherlands and most of the other Western European countries. It has several advantages for animal and farmer. The labour productivity has increased tremendously and physical working conditions have been improved since introduction in the early seventies. Also animal welfare benefited. Compared to tied stalls, cows have freedom to move and more possibilities to express natural behaviour and social interactions with other members of the herd. However, after all, the free stall design have not always been only beneficial to dairy cows. Concrete floors in alleys and cubicles lead to, sometime severe, claw and leg lessions and lower ranked cows or cows with locomotion problems have problems to maintain their position in the herd and fulfil their basic needs in competition with other cows.

Although the vast majority of the cows are housed in a free stall it is not the only housing system available. Especially in organic dairy farming and in beef farming the deep litter systems has kept a small but rather constant "market niche". Building costs of this system are lower than cubicle housing and freedom of movement in the system is even greater than in the cubicle system as there is a minimum of obstacles. The lying and walking area in this system is combined in a bed of litter. Most of the time straw is used. The amount of straw necessary to keep animals clean and provide them with a comfortable lying bed is around 10 kg per cow per day. Apart from costs, the distribution of the straw in the pen is, after milking, the most labour demanding activity coming with this housing system. Beside that, even when a sufficient amount of straw is provided, udder health problems are more frequent, compared to free stalls. On the contrary, severe claw lesions and locomotion problems are, generally speaking, rare.

Combining the positive characteristics of both systems in a new housing system would improve general animal welfare on several aspects keeping workload and working conditions for the farmer on an acceptable level. Furthermore is would reduce building costs. In this system the cows have maximum freedom of movement, a soft walking and lying area and minimum risk of claw and leg lesions and udder infections. A pen with a layer of straw seems to meet these description but the reduction of the use of straw, and through that, the labour requirement and costs, is essential to make is successful. Reducing the faeces from the pen as soon as possible is therefore necessary to make the reduction of straw possible, as straw is mainly used to absorb faeces and keep the animals clean. Reducing by hand is no option but an automatic system is not available by now.

This paper describes the development of a device that detects and removes faeces in straw bedding. That process can be divided two main steps:

- Selection and development of detection technique
- Implementation of detection technique in a working pilot scale model

Each step has been a project of two students from different technical high schools in The Netherlands. The pilot scale model was developed for and installed on Aver Heino, the research farm for organic dairy farming of the Animal Sciences Group. The layout of this farm is given in figure 1.

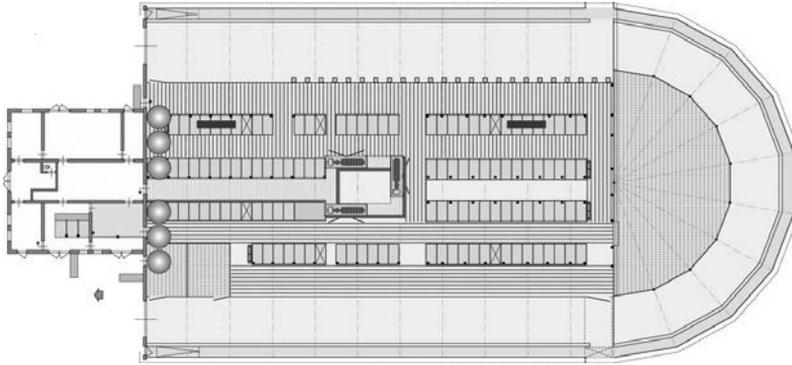


Fig. 1: Layout of the research farm for organic dairy farming Aver Heino with on the right the half round deep litter pen

*Grundriss der ökologischen Milchviehanlage Aver Heino, rechts der halbrunde Tretmistauslauf*

## 2 Selection and development of detection technique

For detection of the faeces in the straw the specific characteristics of the faeces should be used. To successfully detect the faeces, the contrast between faeces and straw should be maximal. Detection based on temperature, colour, shape, water content or gas production has been considered.

**Temperature.** Fresh faeces have a temperature close to body temperature of the cow that, in moderate climates, is always higher than temperature of the surrounding straw. It can therefore be seen as an infrared radiation emitting body. However temperature of the faeces will decrease rapidly and will ultimately take the temperature of the environment. Infrared detecting cameras are commercially available but rather expensive. Because of the decreasing temperature differences, reacting time is short;

Fresh faeces produce gasses like ammonia and methane. The emission however, decreases when a crust is formed on top of the faeces. Besides, the gasses mentioned are emitted also in the rest of the building, so that the distinction between faeces and litter will be difficult and only beyond detection limits close to the faeces. Gas detection is commercially available against reasonable prices.

Water content of fresh faeces is around 85 %, much higher than the water content of surrounding straw. Although the faeces will dry out eventually, this process is rather slow. Detection of faeces is technically possible but detection is optimal in perpendicular position above the faeces. In other words, for optimal detection the position of the faeces should be known.

**Visible characteristics like shape and colour.** When enough light is available the faeces can be detected by its more or less round shape and the colour contrast with the surrounding straw. Vision systems are widely used in packaging industry, laboratories and security, and cameras ranges from expensive high quality colour systems to cheap black and white cameras.

Besides recognising the characteristics of the faeces, the detection technique should withstand the specific (physical) conditions in the barn. These demands and the score of the different techniques are summarised in table 1.

Tab. 1: Demands for faeces detection system (++: very good, +: good, +/-: average, -: bad, ---:very bad)  
*Technische Voraussetzungen* (++: *sehr gut*, +: *gut*, +/-: *mäßig*, -: *schlecht*, ---: *sehr schlecht*)

Technique	Temperature	Gasses	Water content	Vision
Light intensity 0–10.000 lux	++	++	++	+
Area of 220 m <sup>2</sup>	+/-	-	-	+
Height > 4 m	+/-	-	---	+
Resistance against ammonia, dust and humidity	-	-	---	-
Temperatures between - 10–35 °C	+	+	-	+
Useful output signal	+/-	-	+/-	++
Reasonable costs	---	---	---	++

### 2.1 Camera

Based on this evaluation the vision technique has been chosen as the most appropriate detection method. From the wide range of cameras the Watec-902C, a simple black & white camera has been chosen. It has 795 x 596 (H x V) pixels, a resolution of 570 lines and a minimum illumination of 0,0003 lux. This specific type of camera, however, only covers an area of 40 m<sup>2</sup> when attached on a height of 4 meters above the pen, so that, to scan the whole pen, six cameras will be needed. This should be kept in mind during further development although, to reduce complexity, only one camera was used during the development process.

### 2.2 Data processing

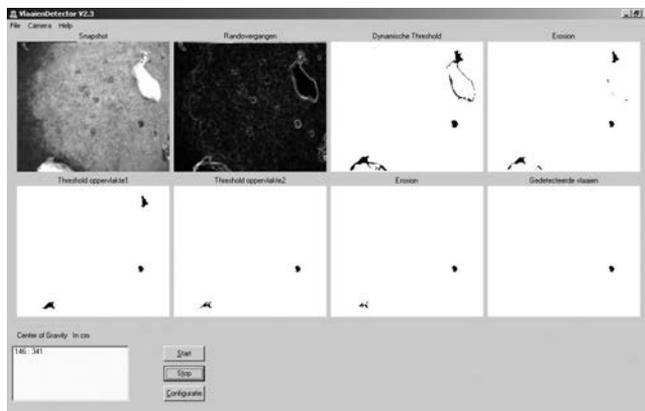


Fig. 2: Example of the conversion of a camera picture with animals and faeces to a binaire picture with only the faeces left combined with coordinates  
*Beispiel der Konvertierung eines Videobildes mit Tier und Fäkalien in ein binäres Bild nur mit Fäkalien und deren Koordinaten*

VisionLab software version 3.24 and Borland Builder C++ 5.0 were used to process the camera data and generate coordinates of the faeces in the pen. These coordinated will be input information for a gripper that actually removes the faeces from the pen.

A picture taken from the pen taken by the camera is represented as a table with a number of columns and rows equal to the number of horizontal and vertical pixels. Each cell contains a value between 0 and 255 where 0 is black and 255 is white. In several steps this picture taken by the camera is converted to a binair picture with the faeces as only object left. Important steps in this transformation is the recognition of contrasts and shapes. Definition of shape is important to distinguish between faeces and skin patterns of Holstein cows. The so called form factor (equal to  $4 * p * A / (P^2)$ , with A for area and P for outline) plays an important role. Figure 2 gives an example of the different steps in such an transformation.

### 3 Implementation of automatic system for faeces removal

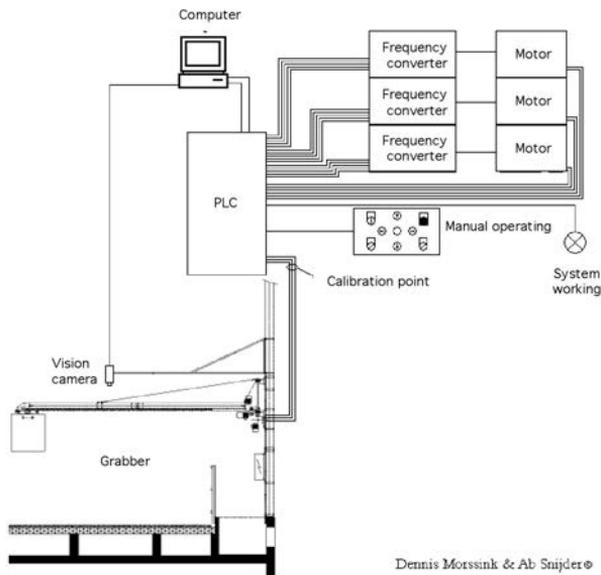


Fig. 3: Outline of automatic system for faeces removal with main components  
*Schema des automatischen Entmistungssystems mit den wesentlichen Komponenten*

In figure 3 the main components of an automatic system for faeces removal are given. The gripper is attached to a horizontal light iron bar that can make an angular movement of almost 180° with a radius of 6,7 meter. The gripper itself can move on that bar horizontally and vertically. Movements in these directions are performed by three frequency controlled (Movitrac<sup>®</sup>) rotary-current motors. These three motor are controlled by a PLC that gets its information (coordinates of the faeces) from the vision system installed on a computer and connected to the camera. Feed-back information about the position of the gripper is generated by three position readers (Omron), one for each motor. The PLC work autonomously but can also been operated manually. Some safety precautions are taken to prevent hurting of animals

or humans and an emergency button is available to interrupt the process immediately. After removing, the gripper drops the faeces on a central spot, which is also the main reference point.

For communication between PLC and PC the serial RS-232 ports on computer and PLC were used. Signals are converted to RS485 to make data transmission over longer distances possible. Because the Vision software was relatively too unstable to communicate directly with the PLC an intermediate program was developed. The main screen of the user-interface of this programs, called PCPLC, is given in figure 4.



Fig. 4: Main screen of user interface PCPLC program for communication between PC and PLC  
*Hauptmenü des PCPLC-Benutzerprogramms zur Kommunikation zwischen PC und PLC*

Coordinated generated by the Vision software are put on the hard disk of the PC as text file. The PCPLC program converts the coordinates in the text file to useful values as angular and horizontal displacement of the gripper, sends them to the PLC and generates log files of its action. Besides, it gives the user possibility to control the system manually with keypad or mouse or to enter coordinated directly. When it is in the automatic mode the system can be interrupted. The program also gives possibilities to calibrate reference points of the gripper and camera and to set limits to angular, vertical and horizontal movements gripper.

This pilot version of the system has been installed and demonstrated on research farm Aver Heino. The system is only tested without animals in the pen and at a speed lower than what is possible. Next step will be to test under realistic condition at a higher speed and add more cameras to enlarge the working area. Preferably the development continues in cooperation with a business partner.

## 4 References

- BOUWSTRA, Y.; GROENSM, A. (2002): Actief detectiesysteem voor intelligent uitmesten in stallen, Leeuwarden.
- MORSINK, D.; SNIJDER, A. (2004): Het autonome uitmestingsysteem: een interface voor de integratie van hardware en software, Zwolle.

## Ergebnisse aus langjährigem Praxiseinsatz von Melkrobotern *Results from many years of using milking robots*

RUDOLF ARTMANN

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** AMS, AMV, Automatische Melkverfahren, Tierverhalten, Durchsatz, Milchleistung  
**Keywords:** AMS, automatic milking systems, animal behaviour, throughput, milk yield

### **Zusammenfassung**

*Für die relative Vorzüglichkeit der Melkverfahren sind neben der Investitionshöhe vor allem die mögliche Belegungsdichte (Kühe/Einheit), die Auswirkungen auf den Arbeitseinsatz und die variablen Kosten sowie die Effekte veränderter Melkabstände und deren Auswirkung auf den Milchertrag entscheidende Parameter. Ziel war es, die mögliche Belegungsdichte und die sie bestimmenden Einflussfaktoren zu ermitteln und deren Effekte auf die Milchleistung zu quantifizieren.*

*Für die Analyse standen automatisch erfasste Daten aus Betrieben mit Einzel- bzw. Mehrbox-AMS zur Verfügung. Diese wurden aufbereitet, kontrolliert und nur nach Erfüllung bestimmter Kriterien in statistische Auswertungen aufgenommen*

*Es zeigte sich, dass Belegung der AMS von Leistungsniveau, Melkfrequenz und Milchfluss abhängig ist und Leistungssteigerungen, abhängig von Melkfrequenz, Leistungsniveau und Laktationsnummer, von bis zu 17 % bei dreimaligem Melken geschätzt wurden. Eine Korrekturmöglichkeit der Leistungssteigerung bei unterschiedlichem Fettgehalt wird aufgezeigt.*

### **Summary**

*For the relative preference of the AMS are apart from the investment height the possible use throughput (cows/unit), the effects on working time requirement and the variable costs as well as the effects on the milk yield trough changed milking intervals crucial parameters. The goal was it to determine the possible load of an AMS and it determining factors as well as to quantify the effect on the milk production.*

*For the analysis automatically collected data were available out enterprises with single box and multi box AMS. These were prepared, controlled and only after fulfilment of certain criteria taken up to the statistic evaluation.*

*It showed up that number of cows per AMS dependents mainly on herd milk yield, milking frequency and milk flow. Dependent on the realized milking frequency yielding of the cows and Lactation number up to 17 % increase in milk yield is estimated. A possibility for correcting the increase of milk yield by different depression of fat content in the milk is shown.*

# 1 Einführung

Automatische Melksysteme wurden entwickelt, um speziell in Familienbetrieben die Arbeitsbelastung zu senken, einen variablen Arbeitseinsatz zu ermöglichen, eine höhere Milchleistung infolge häufigeren Melkens zu realisieren, aber auch um mehr Zufriedenheit mit der eigenen Arbeitswelt zu schaffen.

Seit der Einführung automatischer Melksysteme im Jahre 1992 wurde in vielen Veröffentlichungen und Symposien über diese Technologie berichtet (s. Literaturliste). Die meistens Ergebnisse wurden von AMS, installiert in Versuchseinrichtungen, gewonnen, wobei teilweise die Untersuchungsperioden zudem sehr kurz waren. Nachfolgend wird über mehrjährige Ergebnisse aus dem Einsatz von AMS in landwirtschaftlichen Betrieben berichtet. Untersucht wurden AMS „Liberty“ und „Astronaut“.

# 2 Betriebe

Die Merkmale der untersuchten Betriebe und die Anordnung der AMS zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Merkmale der Betriebe und Einordnung der AMS in die Ställe

Betriebe	A	B	C	D	E1	E2	F	G
Milchkühe	150	95	110	55	150		310	160
Leistung	8 000	7 000	6 500	8 000	10 000		8 700	
AMS-Typ	Liberty	Liberty	Liberty	Liberty	Liberty	Freedom	Astronaut	Astronaut
Boxen	4	3	3	2	3	1	3	2
Anordnung								

# 3 Datengewinnung und -aufbereitung

Mit Firmenunterstützung<sup>1</sup> wurden von den AMS alle Daten über die Besuche der Kühe am AMS aufgezeichnet. Diese Daten wurden regelmäßig auf Datenträger kopiert von Fehlern

<sup>1</sup> Für die Unterstützung bei der Datenerfassung gebührt den Firmen und Betrieben Dank

befreit und für die weitere Auswertung aufbereitet. Für die Berechnung der Leistungssteigerung durch mehrmaliges Melken wurden sehr kurze bzw. sehr lange Zwischenmelkzeiten, Melkungen mit weniger als 2,5 kg Milch und Melkungen von Kühen die länger als 450 Tage gemolken wurden ausgeschlossen.

Die Auswertung erfolgte mit MS-Office bzw. SAS. In den meisten Betrieben und einigen zusätzlichen Betrieben mit Einboxen-AMS wurden Arbeitszeitstudien durchgeführt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Aussuchverhalten

Die Häufigkeit des Melkens (Abb. 1) weist bei Mehrboxensystemen deutliche tageszeitliche Schwankungen auf. Sie sind geprägt durch eine relative Ruhephase zu Beginn des Tages, Spitzenwerte in den Vor- und Nachmittagsstunden und Einbrüchen nach der Mittagszeit. Letztere ist bei Betrieb B durch das Verweilen der Tiere auf der Weide besonders auffallend. Die Einzelbox-AMS weisen insgesamt eine ausgeglichene Melkhäufigkeit über den Tag aus. Aus den hier bestehenden Unterschieden ist ersichtlich, dass Kühe in der späten Laktationsphase die AMS weniger oft frequentierten. Die Ursachen können in der verringerten Kraffuttergabe, der höheren Belegungsdichte des AMS, aber auch an den strengeren Restriktionen für das Melken liegen. Über Managementmaßnahmen, z. B. die Zeitpunkt und Häufigkeit der Futtervorlage, Abtrennung nicht melkbarer Kühe, usw. lässt sich die Melkleistung etwas erhöhen.

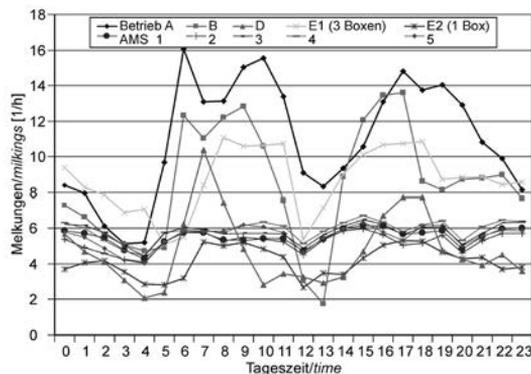


Abb. 1: Mittlere Variation der Melkleistung je Stunde in Abhängigkeit von der Tageszeit bei den verschiedenen AMS

### 4.2 Zwischenmelkzeiten

Der Vergleich der Zwischenmelkzeiten (Abb. 2) zeigt, dass sich mit zunehmender Boxenzahl bei Mehrboxensystemen das Melkintervall verlängert.

Doch selbst bei nur einer Box sind die Zwischenmelkzeiten länger als bei dem Einboxensystem, bei dem 50 % der Melkungen innerhalb von sieben Stunden erfolgen.

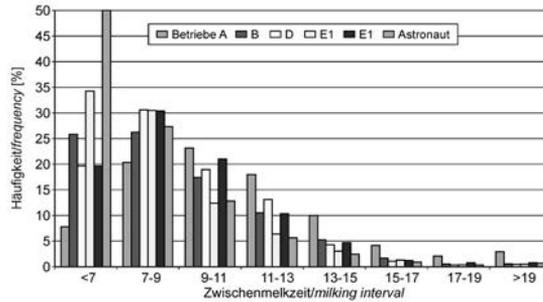


Abb. 2: Zwischenmelkzeiten bei den verschiedenen AMS

### 4.3 Melkleistung

Ein Vergleich der Melkleistung der Systeme kommt zu den in Tab. 2 angegebenen Werten. Dabei liegen die gemessenen Durchsätze bei Mehrboxensystemen deutlich unter denen, die SONK (1995) berechnete. Eine Regressionsanalyse der Melkleistung zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Melkungen je Tag von der Gemelksmenge und vom mittleren Milchfluss.

Die Analysen ergaben bei 10 kg Gemelken und 2 kg/min vom mittleren Milchfluss 135 Melkungen am Tag je AMS. Diese Werte können erhöht werden, z. B. durch schnelleren Tierwechsel, beschleunigtes Ansetzen, kürzere Reinigungszeiten oder Vermeidung von Leerständen.

Tab. 2: Durchsatzleistung von AMS

AMS	Boxen	Melkungen/h	
		ermittelt	berechnet <sup>1</sup>
Einboxen	1	6,75	-
Mehrboxen	1	5,3	6,4
Mehrboxen	2	10,4	11,7
Mehrboxen	3	13,6	16,4
Mehrboxen	4	16	20,9

### 4.4 Auswirkungen auf den Arbeitsaufwand

Bezüglich der Arbeitseinsparung und die Entbindung von terminierter Arbeit werden an die AMS hohe Erwartungen gestellt. Arbeitszeitanalysen (Abb. 3) zeigen, dass der Arbeitseinsparereffekt sehr stark von der betrieblichen Situation abhängt. Im ungünstigsten Falle kann das AMS sogar Mehrarbeit verursachen.

Durchschnittliche Einsparungen liegen bei 40 %. Im günstigsten Falle und bei ausgereifter Technologie kann mit einer Einsparung von zwei Drittel der Arbeitszeit gerechnet werden, die bei Einsatz konventioneller Technik erforderlich wäre. in Drittel der Arbeitszeit ist für Systemüberwachung, Daten- und Tierkontrolle, Treiben säumiger Tiere, etc. unverzichtbar.

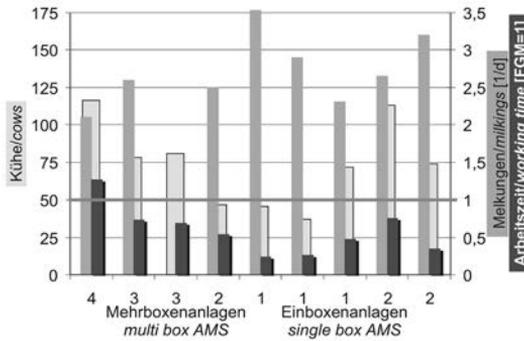


Abb. 3: Arbeitszeitbedarf der untersuchten AMS

### 4.5 Auswirkungen die Milchleistung

Welche Milchleistungssteigerung der Einsatz von AMS bewirkt, lässt sich mit Vorher-/ Nachhervergleichen nicht ermitteln, da sich zu viele Faktoren mit der Einführung eines AMS ändern. In den Untersuchungen wurde daher mittels Regressionen versucht, die durch veränderte Zwischenmelkzeiten ausgelöste Milchmengenänderung zu schätzen. Auf Basis der besten Schätzfunktionen wurden die Laktationsleistungen bei vorgegebenen Zwischenmelkzeiten geschätzt und daraus die Leistungsänderungen gegenüber zweimaligem Melken mit je 12 h Melkintervall berechnet (Tab. 3).

Tab. 3: Berechnete Milchleistungsänderung bei verschiedenen Zwischenmelkzeiten

Melkintervalle milking interval	Melkungen milkings [1/d]	Leistungsveränderung less or increased yield [%]			
		Mehrboxsysteme multi-box systems		Einboxsysteme one-box systems	
10 + 14	2	-1 to -1.2		-3.5 to 4.1	
8 + 16	2				
8 + 8 + 8	3	15.2	18.6	11.6	17.6
6 + 6 + 12	3	11.7	15.5	9.0	15.4
4 + 6 + 8 + 9	3.5			14.1	24.1
gemessen/observed	2.76 2.94			9.7	17.2

Die Leistungsveränderungen bewegen sich zwischen geringfügigen Mindermengen bei nur zweimaligem Melken und ungleichen Zeitintervallen und Mehrleistungen von bis zu 24 %. Da bei diesen Berechnungen die Veränderung des Fettgehaltes unberücksichtigt bleibt, bietet Abb. 4 eine Möglichkeit, die Leistungsänderungen in Abhängigkeit von der erwarteten Veränderung des Fettgehalts zu korrigieren. Bei einer Leistungssteigerung von z. B. 10 % und einem Fettgehaltsrückgang von 0,2 Prozentpunkten würde demnach die korrigierte Leistungsänderung  $10 - 2 * 1,65 = 6,7$  % betragen.

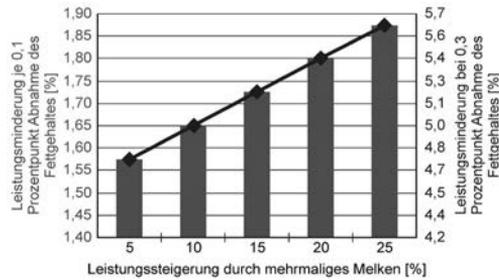


Abb. 4: Auswirkungen von Fettgehaltsminderungen auf die Leistungssteigerungen

## 5 Ausblick

Künftige Forschungsprojekte zu AMS sollten sich auf folgende Bereiche konzentrieren:

- Quantifizierung der Auswirkungen von AMS
  - Beziehung Melkfrequenz Milchinhaltsstoffe
  - Tierüberwachung und Management
- Weiterentwicklung der Technik
  - Betriebsmitteleinsparung
  - Tierverkehr (Lokalisierung der Kühe, Treibsysteme, Rufsysteme)
  - Adaptierbarkeit an wachsende Betriebe (Ansetzroboter für Karussells)
  - Melkhygiene- und Milchqualitätsbeurteilung
  - Nutzung von online Milchanalysesystemen für Prozesssteuerung, Monitoring der Kühe und Management.

## 6 Literatur

ARTMANN, R. (2003): High-Tech im Rinderstall. Mais H.1, S. 4–7.

ROSATI, A. et al. (Hrsg.) (2001): Physiological and technical aspects of machine milking. ICAR Technical Series No. 7, p.159–164.

BOHLSSEN, E. (2000): Erprobung und Bewertung automatischer Melkverfahren (AMV) im Praxis-einsatz. Diss. Göttingen, Cuvillier Verlag Göttingen.

FÜBBEKER, A.; KOWALEWSKY, H.-H. (2004): Praxiserfahrungen mit automatischen Melksystemen – eine Umfrage. KTBL-Schrift 424.

HOGVEEN, H.; MEIJERING, A. (Hrsg.) (2000): Robot Milking. Wageningen Pers.

KAUFMANN, R.; AMMANN, H.; HILTY, R.; NOSAL, D.; SCHICK, M. (2002): Automatische Melksysteme AMS. Schweizer Landtechnik Jan 2002 S. 20–23.

KTBL 2004: Automatische Melksysteme im Vergleich KTBL-Schrift 430

MEIJERING A. et al. (Hrsg.) (2004): Automatic Milking. Wageningen Pers.

N.N. (2002): The first North American Conference on Robotic Milking. Wageningen Pers.

SCHÖN, H. (Hrsg.) (2000): Automatische Melksysteme. KTBL-Schrift 395.

SONK, B. R.; DONKRS, H. W. J. (1995): The milking capacity of a milking robot. J. Agric. Engng Res. 62, S.25–38.

## Entwicklung eines online-Sensorsystems für automatische Melkverfahren zur Früherkennung von Eutererkrankungen *Design of an online sensor array for an early detection of udder affections in automatic milking systems*

MARIJAN CULINA<sup>1</sup>, JOCHEN HAHNE<sup>1</sup>, KLAUS-DIETER VORLOP<sup>1</sup>, DIETER ORDOLFF<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Mastitis, Eutererkrankungen, Zellzahl, Biosensor

**Keywords:** Mastitis, Udder Affections, Somatic Cell Count, Biosensor

### **Zusammenfassung**

*Im Zeitraum von November 2003 bis Juni 2004 wurde in der FAL die Milch von 15 Versuchskühen der Rasse Schwarzbunt (Holstein-Friesen) laktationsbegleitend untersucht. Die in Vorversuchen erzielten positiven Ergebnisse eines im Viertelgemelk identifizierten Mastitisindikators konnten verifiziert werden. Die Sensitivität der krankheitsbedingten Konzentrationsänderungen des Indikators überstieg die von Lactose und der Leitfähigkeit schon bei 100000 Zellen/ml um bis zu 90 %. Ferner reagierte der Mastitisindikator unabhängig von der Art der jeweiligen Mastitisform. Hierzu zählen Erkrankungen, die durch Erreger wie Streptokokken, Staphylokokken und coliforme Keime verursacht wurden. Auch eine aseptische Mastitis ohne positiven Erregerbefund konnte nachgewiesen werden. Ein für diesen Mastitisindikator entwickelter Biosensor wurde bereits soweit optimiert, dass die Abweichungen der Messdaten von den Sollwerten in unverdünnter Rohmilch nur noch  $\pm 5$  % betragen.*

### **Summary**

*Milk of 15 Holstein-Friesen test cows was analysed during the lactation in the period from November 2003 to June 2004. Positive results regarding an identified mastitis indicator from quartermilk samples in preliminary tests could be verified. The sensitivity of changes in indicator concentration, conditioned by udder affections, exceeded the sensitivity of the parameters lactose and conductivity up to 90 % at 100000 somatic cells/ml. In addition to that the mastitis indicator reacted independently from the type of mastitis. These are affections caused by pathogens as streptococci, staphylococci and coliform bacteria. Also a non specific mastitis without positive pathogen findings could be detected. A biosensor, fitting to the mastitis indicator substance, has been optimised so far that the deviations of measured values amount to  $\pm 5$  % from the test values in undiluted raw milk.*

## 1 Einleitung und Problemstellung

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2002 etwa 125.000 milchwirtschaftliche Betriebe mit einem Bestand von insgesamt 4,43 Millionen Milchkühen [1]. Seit einiger Zeit kommen zunehmend automatische Melkverfahren (AMV) zum Einsatz. Gründe hierfür sind die nachhaltige Leistungssteigerung der Herden und die durch Kostendegression zunehmenden Herdengrößen bei gleichzeitig stark reduziertem Arbeitsaufwand pro Kuh [2]. Beim Betrieb der AMV's findet jedoch keine sensorische Begutachtung der Milch durch den Melker statt, wie es die Milchverordnung vom 20.07.2000 in Anlage 3 vorschreibt [3].

Abgesehen von den dadurch entstehenden rechtlichen Problemen, werden beim Einsatz derartiger Systeme entzündliche Eutererkrankungen (Mastitiden) nicht frühzeitig erkannt, was für den Landwirt erhebliche wirtschaftliche Einbußen bedeutet. Die Milchleistung eines infizierten Euterviertels geht bis zu 20 % im Vergleich zu den gesunden Vierteln zurück [4]. Die erhöhten Gehalte an somatischen Zellen und erhöhten Keimzahlen führen zu einer Qualitätsabstufung und geringeren Vergütung der Anlieferungsmilch, die zudem aufgrund möglicher technologischer Probleme nicht in jedem Fall oder nur eingeschränkt zur Herstellung von Milchprodukten eingesetzt werden kann [5]. Dem Landwirt entstehen außerdem höhere Behandlungskosten für die Tiere, wenn die Erkrankung erst spät festgestellt wird. Hinzu kommen längere Ausfallzeiten und erhöhte arbeitswirtschaftliche Belastungen. Insgesamt werden die volkswirtschaftlichen Verluste durch Eutergesundheitsstörungen in Deutschland auf jährlich 1,4 Milliarden Euro beziffert [6].

Die wichtigsten Erregergruppen sind Streptokokken, Staphylokokken, coliforme Keime („Umweltkeime“) und Pyogenesbakterien. Vor allem unter den Streptokokken und Staphylokokken finden sich Spezies, die als typische Euterentzündungserreger bekannt sind [2]. Da die Milch erkrankter Tiere neben erhöhten Zell- und Keimzahlen auch Veränderungen in der Zusammensetzung aufweist, wird schon seit einigen Jahren versucht, Eutererkrankungen durch Analyse spezifischer Milchparameter frühzeitig zu erkennen [7]. Die Bemühungen führten bis jetzt jedoch entweder zu keiner zufriedenstellenden Unterscheidung zwischen erkrankten und gesunden Tieren oder scheiterten an wirtschaftlichen bzw. technischen Gesichtspunkten bei der Umsetzung in die Praxis.

## 2 Zielsetzung

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines hochspezifischen und selektiven online-Sensorsystems auf der Basis von Biosensoren zur Integration in automatische Melkverfahren, mit dem die Verkehrsfähigkeit der Milch sicher bewertet und subklinische wie auch aseptische Eutererkrankungen frühzeitig und mit hoher Sicherheit erkannt werden können. Durch eine zusätzliche Integration eines entsprechenden Sensorsystems in konventionelle Melkverfahren könnte für jede betriebliche Form ein Herdenmanagement-System erstellt werden, welches den präventiven Tierschutz, die Milchqualität und die Wirtschaftlichkeit erheblich verbessern würde.

### 3 Material und Methoden

Im November 2003 wurde in der Versuchsstation der FAL eine Kuhgruppe (15 Tiere) der Rasse Schwarzbunt (Holstein-Friesen) zusammengestellt und über eine Laktationsperiode hinweg wöchentlich beprobt. Das Ziel war die Feststellung der Eignung eines bei umfangreichen HPLC-Screenings identifizierten Mastitisindikators. Zu diesem Zweck wurde ein spezielles Versuchsprogramm zusammengestellt (Abb. 1). Die Viertelgemelksproben sind direkt nach der Probenahme an die jeweils zugeordneten Institutionen zur Analyse weitergeleitet worden.

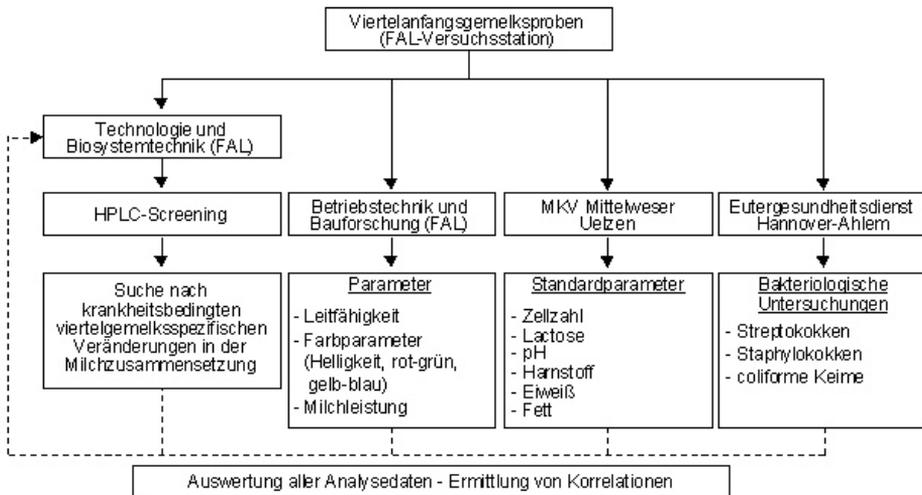


Abb. 1: Organisation des Versuchsprogramms zur Identifikation von Mastitisindikatoren  
*Organisation of the mastitis indicator test program*

Am Institut für Technologie und Biosystemtechnik der FAL wurde der identifizierte Mastitisindikator mittels HPLC quantifiziert. Das Institut für Betriebstechnik und Bauforschung (ebenfalls FAL) lieferte Informationen zur Leitfähigkeit, zur Milchleistung sowie zu Farbparametern (Helligkeit, rot-grün, gelb-blau). Der Milchkontrollverband (MKV) Mittelweser war für die routinemäßige Erfassung von Standardparametern der Milchprüfung zuständig, während beim Eutergesundheitsdienst in Hannover-Ahlem die bakteriologischen Untersuchungen durchgeführt wurden. Sämtliche Ergebnisse sind im Institut für Technologie und Biosystemtechnik zur Ermittlung von möglichen Korrelationen ausgewertet worden. Insgesamt wurden so die Daten von ca. 800 Proben erfasst, was eine repräsentative Auswertung zuließ.

Parallel zu den oben genannten Untersuchungen wurde ein von der FA. TRACE ANALYTICS GmbH entwickelter Biosensor in gemeinsamen Testläufen optimiert. Dies geschah vor dem Hintergrund ein in bezug auf Sensitivität, Selektivität und Wirtschaftlichkeit praxistaugliches Messsystem zu erhalten. Nach einer festgestellten grundsätzlichen Eignung konnte damit begonnen werden, diesen Sensor durch verschiedene Verfahren an die komplizierte Matrix „Milch“ und den identifizierten Mastitisindikator zu adaptieren.

## 4 Ergebnisse

Für die Parameter Lactose, Leitfähigkeit sowie den identifizierten Mastitisindikator wurden zellzahlabhängige Zusammenhänge gefunden, die sich mathematisch beschreiben lassen. Während sich für Lactose und die Leitfähigkeit potentielle Ansätze in der Form  $y = a * x^{-b}$  bzw.  $y = a * x^b$  anwenden ließen, konnte für den Mastitisindikator ein linearer Ansatz in der Form  $y = a * x + b$  gewählt werden. Zur graphischen Vergleichbarkeit wurden die Messdaten normiert, indem die gemittelten prozentualen Abweichungen zum jeweiligen Referenzwert berechnet wurden. Die Referenzwerte sind gleich 100 % gesetzt worden. Die Viertelgemelks-Daten von vier Versuchstieren im relevanten Bereich zwischen 10.000 und 2.000.000 Zellen/ml sind in Abb. 2 dargestellt.

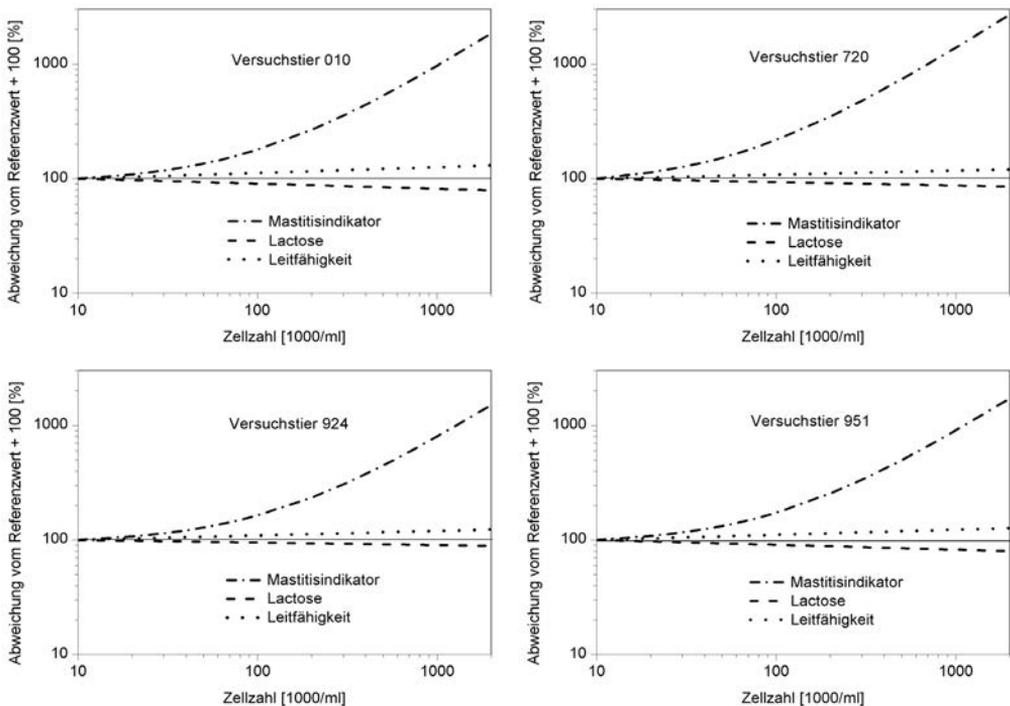


Abb. 2: Normierte, zellzahlabhängige Änderungen ausgewählter Parameter  
*Standardized variations of special parameters depending on the somatic cell count*

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Mastitisindikator bei allen Tieren eine wesentlich höhere Sensitivität als Lactose und die Leitfähigkeit aufweist. Schon bei einer Zellzahl von 100.000 Zellen/ml sind die mittleren Abweichungen von den Referenzwerten beim Mastitisindikator um bis zu 90 % höher als die der anderen beiden Parameter. Dabei reagierten alle Parameter (auch die Zellzahl) völlig unabhängig von der Art der jeweiligen Erkrankungsform. Durch die bakteriologischen Untersuchungen konnte dem Versuchstier 010 eine auf Staphylokokken zurückzuführende subklinische Mastitis zugeschrieben werden. Die Milch der Tiere 720, 924 und 951 blieb ohne positiven Erregerbefund (aseptische bzw. unspezifische Mastitis).

Um ein Maß für die Sensitivitäten zu erhalten, wurden aus den Beträgen der normierten Messdaten als erstes entsprechende Funktionen gebildet. Für Lactose und die Leitfähigkeit ergab sich die logarithmische Form  $y = a * \ln(x) - b$ . Der Mastitisindikator blieb bei einer linearen Ausrichtung. Anschließend sind diese Funktionen in den Grenzen 10 bis 2000 Zellen \* 1000/ml integriert worden. In Tabelle 1 sind die normierten Sensitivitätsmaße als Flächeneinheiten in FE/1000 dargestellt.

Tab. 1: Normierte, zellzahlabhängige Sensitivitätsmaße ausgewählter Parameter  
*Standardised sensitivity rates of special parameters depending on to the somatic cell count*

Versuchstier	Normiertes Sensitivitätsmaß [FE/1000]		
	Mastitisindikator	Lactose	Leitfähigkeit
010	1740	35	48
720	2590	24	32
924	1408	18	37
951	1615	33	67

Das Verhältnis der normierten Sensitivitätsmaße von Leitfähigkeit und Lactose befindet sich im Bereich zwischen 1,3 und 2,0. Der Mastitisindikator weist gegenüber der Leitfähigkeit Verhältnisse im Bereich von 24 bis 81 bzw. 49 bis 108 gegenüber Lactose auf.

Der zur Analyse des Mastitisindikators entwickelte Biosensor wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt bereits soweit optimiert, dass Genauigkeiten von  $\pm 5\%$  in unverdünnter Rohmilch erzielt werden konnten.

## 5 Diskussion

Der bei aufwändigen HPLC-Screenings identifizierte Mastitisindikator ist geeignet, eine Früherkennung von Eutererkrankungen zu realisieren. Dies zeigen die über eine Laktationsperiode hinweg gewonnenen Informationen. So lassen die krankheitsbedingten Konzentrationsänderungen dieser Substanz eine frühzeitige Erfassung weit unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte zu, da sie auch schon auf geringste Integritätsstörungen der Blut-Euter-Schranke reagiert. Eine besondere Bedeutung hat hierbei die Art und Weise, wie die Probenahme erfolgt und wie die anfallenden Daten verwertet werden. Folgende Punkte sind hierbei besonders zu beachten:

- Probenahme im Viertelgemelk zur Steigerung der Sensitivität des Messverfahrens und zur Vergleichbarkeit der Messwerte.
- Interner tierspezifischer Euterviertelgleich zur Kompensation unterschiedlicher Grundniveaus und äußerer Einflussfaktoren sowie zur Identifikation einzelner erkrankter Euterviertel.
- Dynamische Betrachtungsweise der Messwerte, da einzelne Messergebnisse zur Beurteilung des Gesundheitsstatus nicht ausreichend sind.

Die Leitfähigkeit und Lactosekonzentration sind ebenfalls von der Permeabilität der Blut-Euter-Schranke abhängig. Die Sensitivitäten dieser beiden Parameter reichen allerdings nicht aus, um den Gesundheitsstatus eines Kuheuters eindeutig zu beschreiben.

Die Tatsache, dass der identifizierte Mastitisindikator unabhängig von der Art der Erkrankung reagiert, ist als weiterer positiver Effekt zu bewerten. Hierdurch ist es möglich, sowohl subklinische als auch aseptische Mastitiden zu erfassen.

Die gewählte Messtechnik „Biosensor“ ist in bezug auf die Wirtschaftlichkeit nicht nur für automatische Melkverfahren geeignet. Die Vorteile einer zusätzlichen Integration in konventionelle Melkverfahren sind nicht zu unterschätzen. Durch eine kontinuierliche Überwachung des Gesundheitsstatus einer Herde wäre es möglich, gefährdete Tiere sofort zu erkennen. Dies ist eine diagnostische Qualität, die selbst mit einer sensorischen Begutachtung durch den Menschen nicht erreicht werden kann. Durch gezielte vorbeugende Maßnahmen an gefährdeten Tieren könnten physiologische Symptome und die damit verbundenen wirtschaftlichen Verluste einer Eutererkrankung erheblich reduziert werden. Aus Sicht des Verbraucherschutzes würde die angestrebte Entwicklung zu einer Verbesserung der Rohmilchqualität durch objektive Beurteilungskriterien führen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird momentan eine vollautomatisch arbeitende Probenahmeeinrichtung konzipiert. Sie wird das Bindeglied zwischen Tier und Sensor darstellen.

## 6 Literatur

- [1] ZMP (2003): Biofrische im LEH - Fakten zum Verbraucherverhalten. Materialien zur Marktberichterstattung Band 45. ZMP - Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH, Bonn.
- [2] AID (2001): Eutergesundheit - Grundlage der Qualitätsmilcherzeugung. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (aid) e.V., Bonn.
- [3] MILCHVERORDNUNG (2000): Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis vom 20.07.2000 – zuletzt geändert am 02.04.2003.
- [4] HABOBOLLAH, T. (1987): Über Beziehungen zwischen Zellgehalt und Laktosegehalt der Milch sowie deren Nutzung zur Abschätzung der Mastitissituation in Kuhherden. Dissertation. Universität Hohenheim.
- [5] BERGMANN, T. (1989): Der Milchzellgehalt und seine Bedeutung als Parameter der Eutergesundheit sowie der technischen und hygienischen Wertigkeit von Milch. Deutsche Milchwirtschaft 49, 848-850.
- [6] DVG (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V., Fachgruppe Milchhygiene, Sachverständigenausschuss Subklinische Mastitis, 4. Aufl., DVG, Giessen.
- [7] REDEZTKY, R. (2000): Biochemisches Blutprofil, Milchhaltsstoffe und Milchmengenleistung als Kriterien zur laktationsbegleitenden Beurteilung des Gesundheitsstatus hochleistender HF-Kühe in Anbindehaltung. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover. Zentrum für Lebensmittelwissenschaften. Abteilung Hygiene und Technologie der Milch.

## CIP-cleaning systems versus conventional cleaning systems for milking parlour and milk storage

### *CIP-Reinigungssysteme im Vergleich mit konventionellen Reinigungssystemen für Melkstand-Anlagen und Milch-Lagerung*

MADS URUP GJØDESEN

The Danish Agricultural Advisory Service, national Centre, Building and Technique, Udkaersvej 15, DK-8200 Aarhus N

**Keywords:** Milk-cip, cleaning systems, cleaning system for milking parlour

**Schlüsselwörter:** Milch-CIP, reinigungssysteme, reinigungssysteme für Melkstand-Anlagen

### **Summary**

*Cleaning of the milking parlour and storage tank demands considerable resources. The purpose of CIP-cleaning system (Cleaning In Place) is to recycle some of the water and chemicals and use less electricity. According to the manufacturer, Strangko, it saves up to 70 % water and chemicals and 20 % electricity*

*A practical comparison between Milk-CIP and a conventional cleaning system showed large savings in water and chemical consumption on the CIP. Over a period of 10 years the yearly savings are between 1500–2500 Euro, depending on system size. The tests also showed that the users were satisfied with the performance of both types of cleaning systems. The cleaning skills for the CIP are at the same level as the conventional cleaning system.*

### **Zusammenfassung**

*Die Reinigung von Melkstand-Anlagen und Lagertanks beansprucht erhebliche Ressourcen. Die Intention des CIP-Reinigungssystems (In situ Reinigung) ist es durch Recycling den Verbrauch an Wasser und Chemikalien sowie den Energiebedarf zu reduzieren. Laut Herstellerangaben [Fa. Strangko] können bis zu 70 % Wasser und Chemikalien und 20 % Strom einzuspart werden.*

*Ein Praxisvergleich zwischen dem Milch-CIP und einem herkömmlichen Reinigungssystem bewies die erheblichen Einsparungen an Wasser, Chemikalien und Energie mit CIP. Über einen Zeitraum von 10 Jahren ließen sich in Abhängigkeit von der Systemgröße, Einsparungen von 1500–2500 EUR pro Jahr erzielen. Die Tests zeigten außerdem die Zufriedenheit der Nutzer mit der Betriebsleistung der beiden Reinigungssysteme. Die Reinigungsleistung des CIP entspricht dem Niveau des herkömmlichen Reinigungssystems.*

## 1 Introduction and background

Cleaning of the milking parlour and milk tank demands considerable resources. The purpose of CIP-cleaning system (Cleaning In Place) is to recycle some of the water and chemicals and use less electricity. According to the manufacturer, Strangko, it saves up to 70 % water and chemicals and 20 % electricity.

The two types of cleaning systems was tested and compared in a FarmTest. FarmTest is a short test, typical one-two month, preformed in practise on the farm. The equipment is being tested, and the Farmer interviewed, to solve advantages and disadvantages. The test results are published in a rapport and on [www.farmtest.dk](http://www.farmtest.dk).

The test included registration of water-, chemical- and energy consumption over a period of one month. Four systems were tested:

- Small CIP-cleaning system tested on 2 x 10 parallel parlour and 5,000 litre milk tank.
- Conventional cleaning system tested on 2 x 10 parallel parlour and 8,000 litre milk tank
- Large CIP-cleaning system tested on 2 x 16 parallel parlour and 10000 litre milk tank
- Tested on 2 x 14 parallel parlour and 6000 litre milk tank

The systems match two and two, so that comparison of the consumption of water, chemicals and electricity between the CIP and the conventional cleaning systems was possible.



Fig. 1: Small 125 l. CIP-cleaning system for milking parlour and milk storage  
*Kleines 125 l CIP-Reinigungssystem für Melkanlagen und Milchlagertanks*

## 2 Description of the Milk-CIP cleaning system

The cleaning of the parlour and milk storage has to follow a five step process according to Danish law. This causes a large water and chemical consumption. The CIP-cleaning system recycles some of the water.

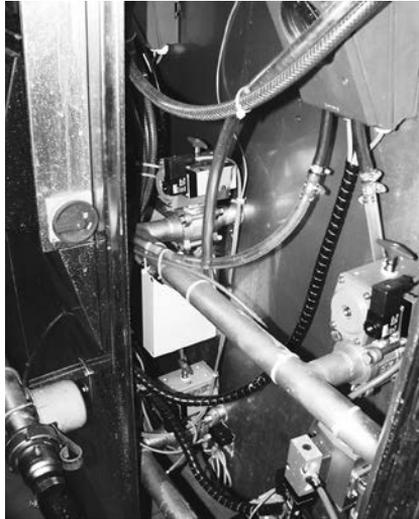


Fig. 2: The technical construction of the Milk-CIP is far more complex than the conventional system  
*Die technische Konstruktion des Milch-CIP ist komplexer als im konventionellen System*

**Conventional cleaning system**

Washing phases	Description	Waste
1. Clean water flush	Clear water flush. Temperature 40–45 °C.	100 %
2. Cleaning flush	Alkaline washing process. Temperature 80–85 °C.	100 %
3. Clear water flush	Clear water flush. None heated water.	100 %
4. Disinfection flush	Disinfection washing process. None heated water.	100 %
5. Clear water flush	Clear water flush. None heated water.	100 %

**CIP-cleaning system**

Washing steps	Description	Waste
1. Clean water flush	Clear water flush. Temperature 40–45 °C. Water from last step 5 is being used.	100 %
2. Cleaning flush	Alkaline washing process. Temperature 80–85 °C. 90 % recycling from storage tanks.	10 %
3. Clear water flush	Clear water flush. None heated water.	100 %
4. Disinfection flush	Disinfection washing process. None heated water. 90 % recycling from storage tanks.	10 %
5. Clear water flush	Clear water flush. None heated water. This water is being stored for next step 1.	0 %

### 3 Results

The test showed a significant advantage to the CIP cleaning system. It saved up to 78 % water and chemicals. The consumption of electricity was at the same level with a difference of  $\pm 12-19\%$ .

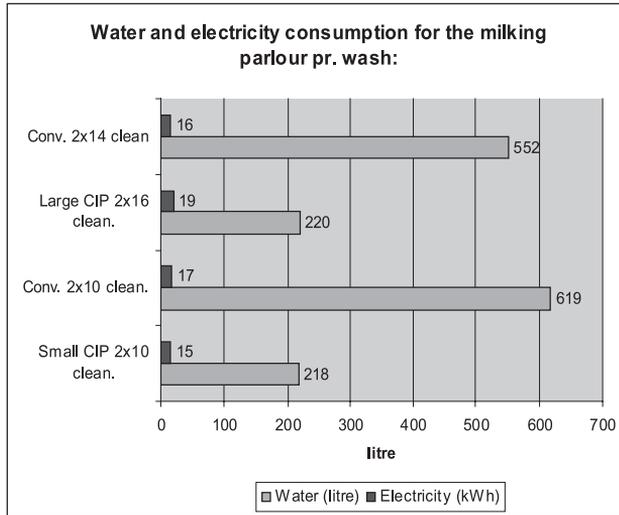


Fig.3: Electricity and water consumption for the milking parlour  
*Strom- und Wasserverbrauch für die Melkanlage*

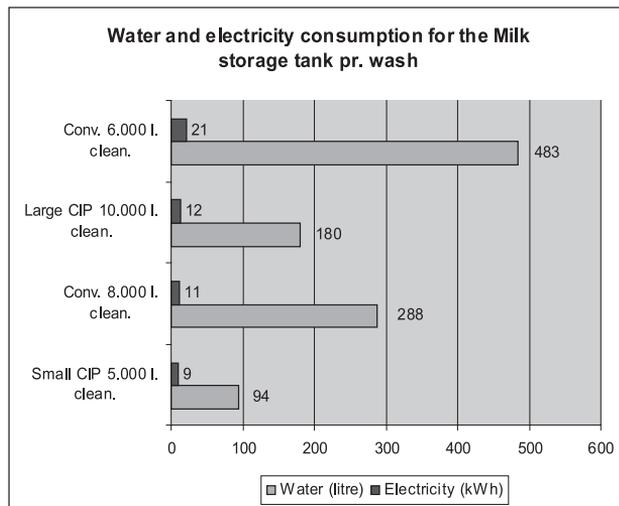


Fig. 4: Electricity and water consumption for the milk tank  
*Strom- und Wasserverbrauch für den Milchtank*

**Save comparison between CIP and conventional cleaning system + Numbers mean savings**

System	Wash, parlour		Wash, milk tank (in relation to tank size)		Daily use of chemicals	
	Water total	Electricity total	Water total	Electricity total	Soap	Disinfection
CIP 125 litre 5,000 litre	+ 65 %	+ 12 %	+ 48 %	- 20 %	+75 %	+ 62 %
Conv. 2 × 10 8,000 litre	- 65 %	- 12 %	- 48 %	+ 20 %	-75 %	- 62 %
CIP 250 litre 10,000 litre	+ 60 %	- 19 %	+ 78 %	+ 67 %	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
Conv. 2 × 14 6,000 litre	- 60 %	+ 19 %	- 78 %	- 68 %	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Not possible to compare because consumption on conventional system was impossible

## 4 Economy

All calculations are based on two daily washes of the parlour. The yearly expenses include water, chemical and electricity consumption, storage and spreading of waste water and depreciation over a period of 10 years.

### Economy based on FarmTest results

Tank wash:	Daily	Every second day
Yearly expenses on 125 litre CIP all incl.:	5150 Euro	4860 Euro
Yearly expenses on conv. system (2×10) all incl.:	7120 Euro	6430 Euro
Yearly expenses on 250 litre CIP all incl.:	5005 Euro	4615 Euro
Yearly expenses on conv. system (2×16) all incl.:	7440 Euro	6360 Euro
Yearly savings with Milk-Cip vs. conventional system:		
Small system:	1970 Euro	1570 Euro
Large system:	2435 Euro	1745 Euro

### Economy based on Strangko theoretical calculations

Tank wash:	Every second day
Yearly expenses on 125 litre CIP all incl.:	4300 Euro
Yearly expenses on conv. system (2×10) all incl.:	7090 Euro
Yearly expenses on 250 litre CIP all incl.:	6390 Euro
Yearly expenses on conv. system (2×16) all incl.:	12370 Euro
Yearly savings with Milk-Cip vs. conventional system:	
Small system:	2790 Euro
Large system:	5980 Euro

The size of the savings depends on the consumption. A higher consumption results in higher savings. The only disadvantage of the CIP-system is the higher investment price and more advanced technique. The price for the Milk-CIP is approximately 15–16000 Euro depending on size.

## **5 Cleaning skills of Milk-CIP and conventional systems**

A comparison of the cleaning skills for the two systems did not show any difference. Both systems washed with acceptable results. The germ counts were at the same level. The average germ counts for the two CIP systems were 3000 and 4000. Germ counts for the conventional systems were 4000 and 17000.

The survey was performed in 2003.

## Nutzung aktiver und passiver Selektionstore beim automatischen Melken mit selektiv gelenktem Umtrieb

### *Usage of active and passive selection gates on automatic milking with a selectively guided cow traffic*

JAN HARMS, GEORG WENDL

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** Automatisches Melken, Umtriebsform, Selektionstore  
**Keywords:** *Automatic milking, cow traffic, selection gates*

### **Zusammenfassung**

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie die Tiere beim automatischen Melken mit selektiv gelenktem Umtrieb aktive oder passive Tore an verschiedenen Standorten nutzen. Es konnte gezeigt werden, dass aktiv öffnende Selektionstore von den Tieren deutlich besser angenommen werden als passive Ausführungen. Weiterhin wurde ermittelt, dass Selektionstore in der Nähe der Melkbox im Vergleich zu einem Standort in der Stallmitte insgesamt seltener aufgesucht werden. Zusätzlich konnte beobachtet werden, dass die Selektionstore in der Nähe der Melkbox von den Tieren häufiger ohne Durchgang wieder verlassen wurden, obwohl sie geöffnet waren.

Insgesamt lässt die Untersuchung den Schluss zu, dass sich sowohl mit passiven als auch mit aktiven Selektionstoren ein selektiv gelenkter Tierumtrieb realisieren lässt. Aktiven Toren sollte jedoch gegenüber passiven Toren der Vorzug gegeben werden, da sie von den Tieren besser angenommen werden und weniger Zeit für das Anlernen der Tiere benötigen. Ein Standort der Tore in der Nähe der Melkbox (Wartebereich) sollte aufgrund der schlechteren Nutzung vermieden werden.

### **Summary**

The question of this investigation was how often animals use active or passive gates in automatic milking systems with selectively guided cow traffic. It could be shown, that cows adapt much easier to selectively guided cow traffic when active selection gates are used instead of passive ones. Selection gates near to the milking box were less frequented than those positioned mid barn. The gates near to the milking box also were left more often backwards even though they were open or unlocked.

All in all it can be concluded, that a selectively guided cow traffic can be realized with passive selection gates as well as with active gates. Active gates should be favoured over passive gates, as cows accept them easier and the adaptation time is shorter. Due to the poor acceptance, a position near to the milking box should be avoided.

## 1 Einleitung und Fragestellung

Ein wesentlicher Faktor für den Erfolg des automatischen Melkens ist ein funktionierender Kuhumtrieb. Durch den Einsatz dezentraler Selektionstore können Vorteile des gelenkten und des freien Umtriebs kombiniert werden (HARMS 2004). Entscheidend für den Erfolg ist jedoch die Nutzung dieser Selektionstore durch die Tiere. Dieser Aspekt wurde bisher nur in wenigen Untersuchungen detailliert beleuchtet (z. B. OLOFSSON 2001, WIKTORSSON 2002). Insbesondere stellt sich die Frage, wo die Selektionstore im Stall platziert werden sollen, und ob passive oder aktive Tore von den Tieren besser angenommen werden.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Untersuchte Betriebe und Umtriebsform

Die Untersuchungen wurden auf zwei Versuchsbetrieben durchgeführt (Lfl-Grub und TUM-Hirschau). Betrieb 1 (vgl. Abb. 1) war ein dreireihiger Liegeboxenlaufstall mit einem automatischen Melksystem „Merlin“ der Firma Lemmer-Fullwood. Die Tierzahl betrug 49 Kühe der Rasse Fleckvieh. Auf Betrieb 2 (vgl. Abb. 2) wurde ein automatisches Melksystem „VMS“ der Firma DeLaval in einem vierreihigen Liegeboxenlaufstall installiert. Die untersuchte Herde umfasste hier 45 rotbunte Tiere. Auf beiden Betrieben wurden jeweils zwei Selektionstore installiert, über welche die Tiere vom Liegebereich aus den Fressbereich erreichen konnten, sofern sie noch nicht melkberechtigt waren (selektiv gelenkter Umtrieb). Auf Betrieb 1 wurden passive Tore verwendet, auf Betrieb 2 aktive Tore, wobei sich jeweils ein Tor in der Nähe der Melkbox (Wartebereich) und eines in der Stallmitte befand. Die Versuche dauerten 12 bzw. 10 Tage. Die Tiere wurden intensiv an den Toren angeleert und hatten vor dem eigentlichen Versuch 12 bzw. 13 Wochen Zeit zur Eingewöhnung. Eine detaillierte Beschreibung der untersuchten Betriebe und des selektiv gelenkten Umtriebs ist bei HARMS 2004 zu finden.

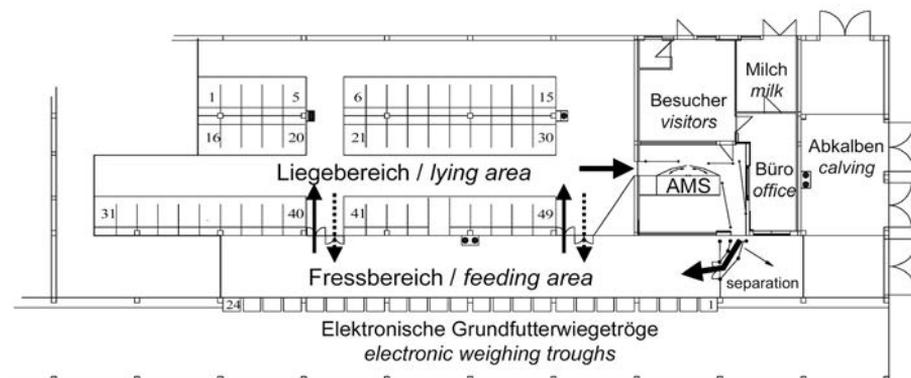


Abb. 1: Selektiv gelenkter Umtrieb auf Betrieb 1  
Selectively guided cow traffic at farm 1

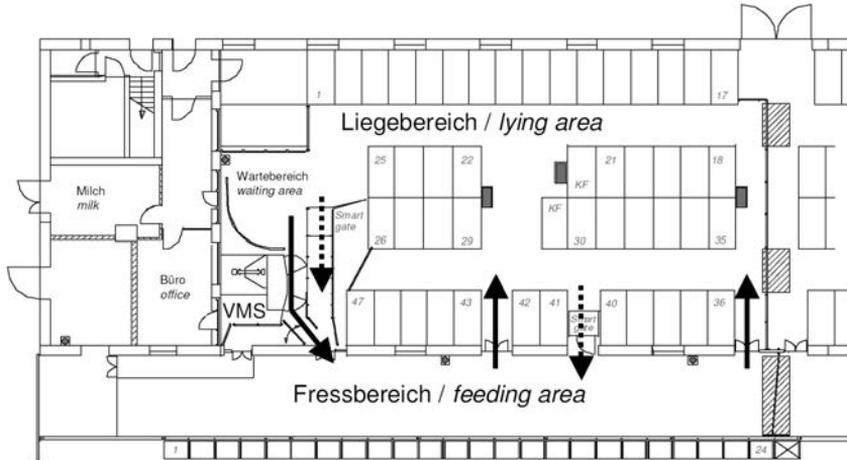


Abb. 2: Selektiv gelenkter Umtrieb auf Betrieb 2  
*Selectively guided cow traffic at farm 2*

## 2.2 Ermittlung der Nutzung der Selektionstore

Aus den aufgezeichneten Daten der automatischen Melksysteme konnte bei jeder Erkennung eines Tieres an einem Selektionstor die Tiernummer sowie das Vorliegen einer Durchgangsberechtigung ermittelt werden. Diese Daten wurden durch die Auswertung von Videoaufzeichnungen ergänzt. Daraus war ersichtlich, ob ein durchgangsberechtigtes Tier das Selektionstor tatsächlich passiert oder dieses rückwärts wieder verlassen hatte.

Ausgehend von diesen Daten wurde bestimmt, wie häufig die einzelnen Tiere die Selektionstore im Versuchszeitraum von 12 bzw. 10 Tagen erfolgreich nutzten (d. h. das Tor wurde passiert). Weiterhin wurde ermittelt, wie häufig Kühe trotz Berechtigung das geöffnete Tor nicht benutzten. Die Auswertungen erfolgten getrennt für die beiden Standorte „Stallmitte“ und „Nähe Melkbox“.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Annahme der Selektionstore durch die Tiere

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass die aktiven Selektionstore auf Betrieb 2 mit 2,56 Übergängen pro Tier und Tag häufiger genutzt wurden als die passiven Tore auf Betrieb 1 (1,42 Übergänge pro Tier und Tag). Auf beiden Betrieben bevorzugten die Tiere die Selektionstore in der Stallmitte. Die Selektionstore in der Nähe der automatischen Melksysteme wurden auf Betrieb 1 nur 0,47-mal pro Tier und Tag erfolgreich genutzt, auf Betrieb 2 lag dieser Wert bei 0,38.

Tab. 1: Selektionstorbesuche mit und ohne Durchgang trotz Berechtigung  
*Visits of the selection gates with and without passage, despite of having the permission*

	Passive Tore / passive gates Betrieb 1			Aktive Tore / active gates Betrieb 2		
	Erkennungen mit Durchgangsberechtigung pro Tier und Tag <i>Identifications with passage authorisation per cow and day</i>					
	Mit/ohne Durchgang <i>with/without passage</i>			Mit/ohne Durchgang <i>with/without passage</i>		
	[n]	[n]	[%]	[n]	[n]	[%]
Tor nahe AMS / <i>Gate near AMS</i>	0,47	0,27	36,2	0,38	0,21	35,5
Tor Stallmitte / <i>Gate mid barn</i>	0,94	0,18	15,9	2,18	0,05	2,2
Beide Tore / <i>Both gates</i>	1,42	0,45	24,0	2,56	0,26	9,2

### 3.2 Nichtpassieren der Tore trotz Durchgangsberechtigung

Die Ergebnisse zu den Besuchen der Tore, bei denen trotz Berechtigung kein Durchgang erfolgte, sind ebenfalls aus Tabelle 1 ersichtlich. Auf beiden Betrieben wurden die Selektionstore in der Nähe der Melkbox häufiger trotz Berechtigung nicht passiert als in der Stallmitte. Besonders deutlich war dieser Unterschied auf dem Betrieb 2. Hier wurde das Tor neben der Melkbox pro Tier und Tag 0,21-mal wieder verlassen, obwohl es geöffnet war. Dies entspricht einem Anteil von 35,5 % aller Tiererkennungen an diesem Tor. Dagegen wurde das Tor in der Stallmitte pro Tier und Tag 2,18-mal erfolgreich genutzt, pro Tier und Tag traten jedoch nur 0,05 Fälle auf, bei denen trotz Berechtigung kein Durchgang erfolgte, was einem Anteil von 2,2 % entspricht. Insgesamt wurden die Tore auf dem Betrieb 2 in 9,2 % aller Fälle trotz Berechtigung nicht passiert.

Auf dem Betrieb 1 wurde das Tor in der Nähe der Melkbox pro Tier und Tag 0,27-mal wieder verlassen, obwohl es geöffnet war, was einem Anteil von 36,2 % aller Tiererkennungen an diesem Tor entspricht. Das Tor in der Stallmitte wurde pro Tier und Tag 0,94-mal erfolgreich genutzt, pro Tier und Tag traten hier 0,18 Fälle auf, bei denen trotz Berechtigung kein Durchgang erfolgte. Dies entspricht einem Anteil von 15,9 %. Insgesamt wurden die Tore auf dem Betrieb 1 in 24,0 % aller Fälle trotz Berechtigung nicht passiert.

### 3.3 Individuelle Nutzung der Selektionstore

Da bei der Bewertung der Nutzung der Selektionstore nicht nur die durchschnittliche Nutzung pro Tier und Tag von Interesse ist, wurde bestimmt, welcher Anteil der Herde die Selektionstore wie häufig aufsuchte (Abb. 3). Die Auswertung ergab, dass auf dem Betrieb 1 30,6 % der Tiere die passiven Selektionstore während des ganzen Versuchs nicht erfolgreich genutzt hatten und bei keinem Tier mehr als 5,5 Übergänge pro Tag zu verzeichnen waren. Nur bei etwas mehr als 50 % der Tiere war im Durchschnitt mehr als ein erfolgreicher Besuch pro Tag zu verzeichnen. Die aktiven Selektionstore auf dem Betrieb 2 wurden besser angenommen, hier nutzten alle Tiere die Tore, wenn zum Teil auch sehr selten. Knapp 85 %

der Tiere nutzten die Tore jedoch mindestens 1-mal pro Tag. Nur drei Tiere passierten die Tore durchschnittlich mehr als 5-mal pro Tag, sie erreichten dabei Werte von mehr als acht erfolgreichen Übergängen pro Tag. Kein Tier nutzte die Selektionstore im Durchschnitt mehr als 9-mal pro Tag.

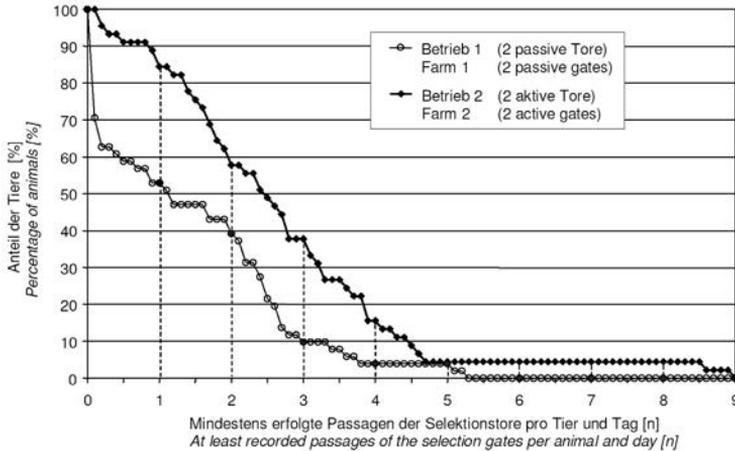


Abb. 3: Anteil der Tiere, die die Selektionstore mit einer bestimmten Häufigkeit (oder häufiger) erfolgreich nutzten  
*Percentage of Animals which used the selection gates successfully with a certain frequency (or more frequent)*

## 4 Diskussion

THUNE et al. 2002 untersuchten neben dem freien und einfach gelenkten Umtrieb auch eine Variante mit aktiven Selektionstoren in der Nähe der Melkbox. Die Herdengröße betrug zwischen 46 und 50 Tieren. Der Versuchsaufbau war dem der eigenen Untersuchung damit sehr ähnlich. Die Versuche von THUNE et al. wurden von FORSBERG et al. und von HAVERKAMP et al. fortgesetzt (Ergebnisse in WIKTORSSON et al. 2003). Bezüglich der Position der Selektionstore kommen die Autoren zu dem Schluss, dass Tore in unmittelbarer Nähe des Eingangs der Melkbox ungeeignet sind, da der Zugang durch wartende Tiere versperrt sein kann. Auch in der vorliegenden Untersuchung wurden die Tore in der Nähe der Melkbox seltener genutzt als die Tore in der Stallmitte. Es wurde auch deutlich, dass die Selektionstore in der Nähe der Melkbox wesentlich häufiger wieder verlassen wurden, obwohl sie geöffnet waren. Die Annahme von WIKTORSSON et al. 2003, wonach die geringere Nutzung der Selektionstore in der Nähe der Melkbox dadurch bedingt ist, dass diese durch wartende Tiere versperrt werden, muss daher dahingehend ergänzt werden, dass sich die Tiere im Wartebereich bewusst gegen eine Nutzung der geöffneten bzw. entriegelten Tore entscheiden. Generell zeigt die häufige Nutzung der Tore in der Stallmitte, dass die Tiere auch Selektionseinrichtungen an Positionen annehmen, die nicht unmittelbar auf dem Weg zur Melkbox liegen.

Hinsichtlich der Nutzungshäufigkeit der Tore lagen die Werte auf beiden Betrieben über dem Durchschnitt der Werte, die von OLOFSSON et al. 2001 auf fünf Praxisbetrieben ermittelt

worden waren. Hier wurden die Selektionstore zwei bis drei Monate nach der Installation im Durchschnitt von weniger als 40 % der Tiere genutzt. Die Ergebnisse schwankten dabei zwischen den untersuchten Betrieben. Als Gründe hierfür wurden insbesondere das „Training“ der Tiere, aber auch die Position der Tore im Stall angeführt.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Untersuchung lässt den Schluss zu, dass sich sowohl mit passiven als auch mit aktiven Selektionstoren ein selektiv gelenkter Tierumtrieb realisieren lässt. Die aktiven Tore werden jedoch von den Tieren besser angenommen und benötigen weniger Zeit für das Anlernen der Tiere.

Selektionseinrichtungen werden von den Tieren auch an Positionen gut angenommen, die nicht unmittelbar auf dem Weg zur Melkbox liegen. Ein Standort der Tore in der Nähe der Melkbox (Wartebereich) sollte aufgrund der schlechteren Nutzung vermieden werden.

## 6 Literatur

HARMS, J. (2004): Untersuchungen zum Einsatz verschiedener Varianten des Tierumtriebs bei automatischen Melksystemen (Einboxenanlagen). Dissertation, Lehrstuhl für Landtechnik der Technischen Universität München – Weihenstephan: 178 S.

OLOFSSON, J.; PETERSSON, G.; WIKTORSSON, H.; EKMAN, T.; SUNDBERG M. (2001): Teknisk provning av DeLaval's automatiska mjölkningssystem (VMS™). Report 249: Department of Animal Nutrition and Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Schweden.

THUNE, R.O., BERGGREN, A.M.; GRAVAS, L.; WIKTORSSON, H. (2002): Barn Layout and Cow Traffic to optimise the Capacity of an Automatic Milking System. – In: Proceedings of the first North American conference on robotic milking, Toronto, 20–22 März 2002: S. II-45 – II-50.

WIKTORSSON, H.; PETERSSON, G.; OLOFSSON, J.; SVENNERSTEN-SJAUNJA, K.; MELIN, M. (2003): Welfare Status of Dairy Cows in Barns with Automatic Milking. EU-Projekt „Implications of the Introduction of Automatic Milking on Dairy Farms (QLK5-2000-31006) als Teil des EU-Programms „Quality of Life and Management of Living Resources“, Deliverable D24, 40 Seiten.

## Opportunities for continuous monitoring of milking installations *Möglichkeiten der kontinuierlichen Überwachung von Melkanlagen*

VEERLE M. J. HOSTENS, BART R. SONCK

Department of Mechanisation, Labour, Buildings, Animal Welfare and Environmental Protection,  
B.van Gansberghelaan 115, B-9820 Merelbeke

**Keywords:** Milking machine, monitoring system, sensors

**Schlüsselwörter:** Melkmaschine, Überwachungssystem, Sensoren

### Summary

*Continuous monitoring systems for the functioning of a milking installation might detect malfunctions in an early stage and prevent serious problems (e. g. bad teat conditions, mastitis, blind milking, etc.). Such a monitoring system records and processes relevant parameters automatically, presents in a reliable way problems, and signals when particular parameters deviate from preset values.*

*Today, some commercial monitoring systems already include elements of functional checks. This paper gives an overview of the possibilities of continuous monitoring of milking installations, based on a literature review and market survey of possible sensors. The importance of some measuring points (vacuum, air consumption, vacuum pump, pulsation, attachment and removal of clusters, liner slips, milk transport, abnormal milk, cleaning, operator faults, cow behaviour, milk cooling and electric supply stray current and the possibilities of monitoring are evaluated.*

### Zusammenfassung

*Kontinuierliche Überwachungssysteme für das Funktionieren der Melkanlage können ein Versagen frühzeitig entdecken und das Auftreten ernsthafter Probleme verhindern (z. B. schlechter Sitzenzustand, Mastitis, Blindmelken usw.). Solch ein Überwachungssystem zeichnet die relevanten Parameter auf und verarbeitet sie automatisch, weist zuverlässig auf Probleme hin und warnt wenn bestimmte Parameter von den voreingestellten Grenzwerten abweichen.*

*Einige kommerzielle Überwachungssysteme verfügen heute schon Elemente für die funktionelle Kontrolle. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Möglichkeiten kontinuierlicher Überwachung von Melkanlagen, basierend auf Literaturrecherchen und Marktstudien bezüglich möglicher Sensoren. Die Bedeutung einiger Überwachungsparameter (Vakuum, Luftverbrauch, Vakuumpumpe, Pulsation, Anbringung und Abnahme des Melkzeugs, Abrutschen der Sitzengummis, Milchtransport, abweichende Milchwerte, Reinigen, Bedienungsfehler, Kuhverhalten, Milchkühlung und Steuströmen in der Stromversorgung) sowie die Möglichkeiten der Überwachung wurden untersucht.*

## 1 Introduction

Today, commercial monitoring systems can already detect malfunctions in an early stage and prevent serious problems (e. g. bad teat conditions, mastitis, blind milking, etc.). The availability of reasonably priced and reliable sensors and processing devices might make continuous monitoring of milking installations in the future cost-effective.

Based on a literature review and market survey of possible sensors we give an overview of the possibilities of continuous monitoring of milking installations.

## 2 Possibilities of Continuous Monitoring

### 2.1 Monitoring vacuum levels at several points in the milking installation

If the installation is able to maintain the desired vacuum at the teats, the vacuum supply, including vacuum pump, regulator and pipelines, functions optimally. Checking the vacuum conditions at the teats would however require many sensors, which are difficult to build in and are not appropriate for continuous monitoring. The current knowledge on interpreting vacuum curves is moreover not ready for it yet.

A possible solution with the available knowledge is to measure continuously the vacuum in the receiver, the milkline and the airline at the vacuum pump inlet and at the regulator. The measurements have to comply with the ISO 5707 requirements. This will give an assessment of the general system vacuum level and vacuum stability for the herd.

The literature, mentions several vacuum sensors mentioned, suited for on-line measurement. These sensors can be classified into two groups: sensors with a small internal measuring chamber and sensors with a stainless steel diaphragm, which can be flush mounted. Unfortunately, when testing in wet locations, milk residues can block the connections of sensors of the first group. This affects not only the measurements (REINEMANN et al. 2001 and RASMUSSEN et al. 2003), but is not good from a hygienic view either. A flush mounted sensor is better from a hygienic point of view, but the stainless steel diaphragm can be very sensitive, which requires a regular maintenance.

There are besides research systems (e. g. BRAY et al.,1998; SPENCER, 2000), some commercial systems which include functional checks for vacuum (e. g. vacuum gauge from A/S S.A. Christensen & co, "DairyDaq" from Viper Technology, "DairyTest Monitor" from InnovAg).

### 2.2 Monitoring the pulsators

Pulsation failure is known to cause harm to teats. A complete pulsation stop will seriously affect the milking and the treatment of the teats. A continuous monitoring system should check if the pulsators are operating. An example of such a control can be found in the DeLaval EP70 Pulsators.

The characteristics of pulsators can change with time and faults in pipes and tubes can lead to a change in the pulsation chamber vacuum record. A monitoring system for pulsation chamber vacuum can detect faults in the pulsation system before udder health is affected. Besides research systems (e. g. BRAY et al.,1998; SPENCER, 2000), there are some commercial

systems which can monitor pulsators (e. g. "Pulse-O-Rater" from Bou-Matic, "DairyDaq" from Viper Technology).

### 2.3 Monitoring the amount of liner slips

During a liner slip, air is admitted to the clusters resulting in an unstable vacuum. MEIN (1992) suggests that a problem exists if more than 5–10 slips or falls per 100 cows milked require correction by the milker(s). SPENCER (1990) describes an in-line liner slip counter. The counting of these liner slips is however not yet suitable for on-line monitoring, as this requires continuous measurement and analyses of vacuum in the mouthpiece chamber. This is however technically not easy.

### 2.4 Monitoring the vacuum pump

The vacuum pump is the main working force of a milking installation. A properly functioning vacuum pump is essential for good milking with a milking installation.

The most frequent reason for sudden vacuum pump breakdown with oil-sealed vacuum pumps is lack of lubrication. An alarm for low oil level could prevent many of these incidents.

A water ring vacuum pump requires a certain amount of seal liquid to operate at the design pressure. Insufficient liquid may result in insufficient vacuum, reduced capacity or possible cavitations in the pump. To alert the user if seal liquid flow is low, a flow switch can be installed. Sight flow indicators can be used for visual assurance of flow.

A temperature sensor in the pump body can tell more about possible problems in the pump, including increased exhaust pressure. For water ring pumps, the temperature of the seal fluid directly affects the vacuum at which the pump can operate. Several vacuum pumps nowadays have a temperature security device, which can make the vacuum pump turn slower or can switch the vacuum pump off.

### 2.5 Monitoring the air consumption

The amount of air admitted by the regulator during normal milking indicates the ability of the system to cope with irregularities of air admission and as such the possibility to hold on the working vacuum level. Another monitoring point is to discover and to locate air leakages, allowing a quick repair of a malfunctioning milking installation.

An airflow sensor may not disturb the flow through the pipelines too much as it can create a too high a vacuum drop. Electromagnetic flow sensors and coriolis mass flow sensors are not suited for measuring gas flow rates. The working principle of vortex and swirl flowmeters is based on creating pressure variations in the fluid and can therefore not fulfil the ISO 5707 requirements. A rotameter costs much and creates a vacuum drop of about 2 kPa, depending on flow velocity. Moreover, because of the pulsations and fluctuations from irregularities, measurements are inaccurate, and cannot fulfil the requirements mentioned in ISO 6690.

Another solution would be to try to detect air leaks by measuring the vacuum variations. This would be a good indicator for monitoring the regularity of air consumption.

## 2.6 Monitoring milk transport, the milker and the cow with milk meters

The combined system of individual cow identification, milk meter and timing allows monitoring of the milking dynamics, as well as parlour performance (MALTZ et al., 2004). This is possible as milk flow curves per cow are to a high degree repeatable. When analysing milk flow curves, one should consider that the milk flow curves change with an increasing lactation period and that the same errors in handling and in milking equipment among the individual cows may have different effects (STEIDLE et al., 2000).

The use of milk meters, combined with individual cow identification and timing are numerous. The data captured, vary however widely between different manufacturers (EICKER and STEWART, 1998). Some milk meters only measure the total amount of milk per cow, while the most sophisticated milk meters like the Lactocorder provide a wide range of milk flow parameters.

EICKER et al. (2000) mention that precise unit attachment time helps to diagnose the milker performance. Certain manufacturers provide the number of re-attaches, the milk yield and duration before and after the re-attach and the time the unit was unattached. The last two can identify if there were letdown problems, or unnecessary re-attaches. The time the unit was unattached indicates how fast units are re-attached after kick-offs. An accurate milking duration helps to diagnose a faulty take-off function. Some systems can record the amount of cows put on manual override.

A milk meter as the Lactocorder (STEIDLE et al., 2000) can register further useful parameters. A rare bimodality in milk flow curves is an expression of milking readiness whereas frequent occurrence of bimodality signals stimulation deficits. In addition, the time of the incline, the time of the plateau and the time of the decline of the milk flow curve are determined. A short plateau with reduced flow signals defects in vacuum and/or milk delivery. A long decline is primarily caused by milking out and then overmilking individual quarters. The milking gear position influences the ratio between plateau and decline. The Lactocorder also determines the time of overmilking by the machine. Furthermore, it registers abrupt air leakages. Air leakage at the beginning of the plateau implies small, short teats and/or too narrow teat rubber. Air leakage when individual quarters run dry are associated with "climbing". Frequent occurrence of air leakage implies defects of the rubber teat nose and is often accompanied by leverage.

## 2.7 Monitoring abnormal milk

At present, there are no standards defining abnormal milk or describing how to detect abnormal milk.

At LELYSTAD (2004), RASMUSSEN presented proposals for standards to define abnormal milk and detection methods for separating abnormal milk automatically. There is a lot of research on this topic, and several on-line sensors are being developed, but as far as known, none of them are commercially available yet in a suitable version for practice.

## 2.8 Monitoring the cleaning of the milking installation

The cleaning procedure comprises many elements which can fail and cause contamination of the milk (interruption in heating, water supply or detergent supply). A monitoring system can be more or less comprehensive. Automatic cleaning systems with inherent alarm function for some critical functions exist.

## 2.9 Monitoring the cooling of the milk

Milk cooling is essential to prevent contamination of the milk. A monitoring system could be more or less comprehensive as monitoring systems for a milk bulk tank with inherent alarm function for some critical functions exist and are moreover in some countries (e. g. Belgium) obligatory.

## 2.10 Monitoring the electric supply stray current

Leakage currents can disturb the milking process. Cows are more susceptible to stray voltages compared to humans due to the cows' relatively lower body resistance (USDA, 1991). When measuring the potential difference between components of the milking stand, the resistance of the body of the cow and the transition resistances between the cow and the measurement points must be known, to calculate the current through the animal. The electric resistance of the body is relatively clear to define, but the transition resistances depend e. g. on humidity. The sources of relatively small electrical currents passing through animals are moreover often very difficult to locate. Therefore, monitoring of the electric supply stray current is not a task of a continuous monitoring system of the milking installation, but of specialists.

## 3 Conclusion

A continuous monitoring system could today contain monitoring of vacuum levels at several points in the milking installation, of pulsators, of the proper working of vacuum pumps, a basic monitoring of the milk transport, the milker and the cow with milk meters and monitoring of the cleaning of the installation as well as the cooling of milk. Research promises to add further monitoring possibilities with vacuum meters, with milk meters and monitoring of abnormal milk in the near future. Monitoring of air consumption or electric supply stray voltage is not ready for continuous monitoring.

## 4 References

- A/S S.A. CHRISTENSEN & CO: Nordre Havnevej 2, DK 6000 Kolding. [www.sac.dk](http://www.sac.dk).  
BOU-MATIC: PO Box 8050, USA Madison, WI 53708. [www.boumatic.com](http://www.boumatic.com).  
BRAY, D. R. et al. (1998): An automated system for monitoring milking system parameters. NMC Ann. Meet. Proc., 127–136.

DELAVAL INTERNATIONAL: AB PO Box 39, SE 14721 Tumba. [www.delaval.com](http://www.delaval.com).

EICKER, S. W.; STEWART, S. C. (1998): Computerized parlor data collection and use: „Monitoring the cows, the people, and the parlor“. NMC Ann. Meet. Proc., 98–107.

EICKER, S. et al. (2000): New tools for measuring the effect of stimulation and take-off on milk flow. NMC Ann. Meet. Proc., 127–133.

INNOVAG/Creative Product Design. [www.cpdesign.com.au](http://www.cpdesign.com.au).

ISO 5707 (1996): Milking machine installations – Construction and performance. Geneva, Switzerland: International Standards Organization.

ISO 6690 (1996): Milking machine installations – Mechanical tests. Geneva, Switzerland: International Standards Organization.

MALTZ, E. et al. (2004): Real-time sensors in the milking parlor as a tool to monitor cows' milk let down and parlor performance to improve milking routines and operation efficiency. AgEng Engineering the Future, 580–581.

MEIN, G. A. (1992): Simple Checks of a Milking System. Proc. 31st Ann. Meet. Natl. Mastitis Council, 103–107.

RASMUSSEN, M. D. et al. (2003): Measuring Vacuum in Milking Machines. Bulletin-FIL-IDF (Belgium). International Dairy Federation 381, 19–32.

RASMUSSEN, M. D. (2004): Detection and Separation of Abnormal Milk in Automatic Milking Systems. Automatic Milking a better understanding, 189-197.

REINEMANN, D.J. et al. (2001): Instrument requirements and methods for measuring vacuum in milking machines. Transactions of the ASAE 44, 4, 975–981.

SPENCER, S. B.; VOLZ, C. (1990): Measuring milking machine liner slips. J. Dairy Sc. 73, 1000–1004.

SPENCER, S. B. (2000): New developments for the use of data acquisition for milking system analysis. ASAE Paper N° 003013. ASAE Ann. Int. Meet.

STEIDLE, E. et al. (2000): Lactation Consulting with Milk Flow Curves. Bayerische Landesanstalt fuer Tierzucht Grub.

USDA. (1991): Effects of Electrical Voltage/Current on Farm Animals: How to Detect and Remedy Problems. Agriculture Handbook No.696.

VIPER TECHNOLOGY (2002): DairyDaq. [www.dairydaq.com](http://www.dairydaq.com).

## **Acknowledgement**

Thanks go to the members of the action team “Continuous monitoring of milking systems” from International Dairy Federation for their advice.

# Konzentration der Ionen Natrium und Kalium in Rohmilch als Kennzeichen der Eutergesundheit

## *Concentration of sodium and potassium in raw milk as indicator for udder health*

INES KREHL, REINER BRUNSCH

Institut für Agrartechnik Bornim e. V., D-14469 Potsdam

**Schlüsselwörter:** Eutergesundheit, Natrium, Kalium, Milchionen

**Keywords:** *Udder health, sodium, potassium, milk ions*

### **Zusammenfassung**

*Das zukünftige Ziel ist es einen Sensor zu entwickeln, der während des Milchflusses eine euterviertelgetrennte Beurteilung der Eutergesundheit vornimmt. Im Vordergrund stehen hierbei die Milchionen Natrium und Kalium, die zu 60 % die elektrische Leitfähigkeit bestimmen [1, 2]. Für diesen Sensor wird als Grundausslegung Datenmaterial benötigt. Eine Literaturstudie sollte das benötigte Datenmaterial ergeben. Das Ergebnis der Recherche ergab, dass unterschiedliche Ansatzpunkte (Laktationsabschnitte, Gemelke) untersucht wurden und das Datenmaterial weder ausreichend noch aktuell war. Aus diesem Grund wurde eine eigene Messreihe durchgeführt. Über eine Laktationsperiode wurden von 8 Kühen der Rasse Deutsche Holstein Vorgemelkproben gezogen, die auf die Ionen Natrium, Kalium im Vergleich zur elektrischen Leitfähigkeit untersucht wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass der Parameter Natrium sensibler auf Einflüsse reagierte als der Parameter Kalium. Beide Ionen zeigten einen laktationstypischen Verlauf, indem während der Laktation Natrium stieg und Kalium sank. Die laktationsbedingte Veränderung betrug für Natrium 37 % und für Kalium 18 %. Unter Berücksichtigung der prozentualen Veränderung des laktationstypischen Verlaufs von Natrium und Kalium kann der Parameter elektrische Leitfähigkeit genauer erklärt und zur Folge besser als Eutergesundheitsparameter genutzt werden.*

### **Summary**

*The project aims to develop a measure sensor with separately determine udder health in each quarter of the udder during the milking process. Main parameters influencing the electrical conductivity as a key measurement are sodium and potassium [1, 2]. Basic data has to be evaluated for the sensor lay out. The results of a literature study aiming for such data showed rather different starting points (lactation stage, milk fractions) together with incomplete data logs. Udder quarter separate data over 8 cows of a German Holstein herd and the measured conductivity was compared to ion concentration of sodium and potassium. Results regarding different influences showed a more sensitive reaction for sodium in comparison to potassium. Both ions had typical trends during lactation. Sodium rising and potassium dropping concentrations over the lactation period. The lactation caused change was found to be 37 % for sodium and 18 % for potassium. Taking these concentration changes into account electrical conductivity can be easier accessed as a parameter for udder health.*

## 1 Einleitung

Die Eutergesundheit ist ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor. Eutererkrankungen sollten möglichst früh erkannt werden, um schnell mit Gegenmaßnahmen reagieren zu können. Der Wunsch eines jeden milchviehproduzierenden Betriebes ist es, automatisch während der Melkphase eine euterviertelgetrennte Gesundheitskontrolle vornehmen zu können. Der Einsatz von Sensoren im Melkzeug bietet dafür Ansatzpunkte. Es wurde eine Literaturstudie durchgeführt, die das Ziel hatte Datensätze von Natrium und Kalium zu sammeln. Das Ergebnis zeigte, dass die Untersuchungen unterschiedliche Ansatzpunkte aufwiesen und das Datenmaterial weder ausreichend noch aktuell war. In den recherchierten Untersuchungen wurden unterschiedliche Laktationsabschnitte (Brunst, Kalbung, Trockensteherphase) sowie auch unterschiedliche Gemelke (Vorgemelk, Anfangsgemelk, Sammelmilch) einbezogen. Im Besonderen beschäftigten sich verschiedene Autoren mit dem Natrium- und Kaliumgehalt bei Kühen mit gesunden und kranken Eutern. Die Ergebniswerte für gesund und krank zeigen große Schwankungsbreiten auf, die eine Eingrenzung der Werte zur Beurteilung der Eutergesundheit nur schwer zulassen. Aus diesem Grund wurde eine eigene Messreihe durchgeführt. Die Messungen stellen einen Beitrag zur Grundlagenforschung bezüglich dem Verhalten von Natrium und Kalium in der Milch dar und dienen gleichzeitig der Beantwortung aktueller Fragestellungen.

### 1.1 Fragestellungen

- In welchem Wertebereich bewegen sich Natrium und Kalium im Vorgemelk im Verlauf einer Laktation?
- Welcher Schwellenwert kann für Natrium und Kalium angenommen werden, der eine Euteränderung signalisiert?

## 2 Material und Methode

Die Untersuchungen wurden an 8 Kühen der Rasse Deutsche Holstein durchgeführt. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über eine Laktationsperiode (Februar bis Dezember 2003). Zweimal täglich wurden von den Kühen je Euterviertel getrennte Vormelkproben (erste Milchstrahlen) genommen. Um eine Gleichbehandlung der Vormelkproben zu gewährleisten, wurden die Milchproben unmittelbar nach der Probenahme eingefroren. Von den Vormelkproben wurde Natrium, Kalium und die elektrische Leitfähigkeit bestimmt. Für den Parameter Leitfähigkeit war keine Verdünnung der Milchprobe notwendig. Hingegen für die Ionen Natrium und Kalium musste eine Verdünnung vorgenommen werden. Das Verdünnungsverhältnis ergibt sich aus dem IDF-Standard [3]. Die Bestimmung der Leitfähigkeit erfolgte mit dem temperaturkompensierten Konduktometer der Firma WTW. Die Analyse der Ionen Natrium und Kalium erfolgte mit Hilfe eines Atomabsorptionsspektrometers (AAS vario 6) der Firma Jena Analytik.

### 3 Ergebnisse

Mit zunehmender Laktation steigt der Natriumgehalt, während der Kaliumgehalt zeitgleich sinkt. Hierbei konnte für das Kalium ein kontinuierlicher, gleich hoher Abwärtstrend verzeichnet werden. Im Verlauf der Laktation sinkt bei allen Kühen der Kaliumgehalt von anfänglich 1563 mg/l auf 1282 mg/l mit einem Mittelwert von 1595 mg/l. Der Werteabfall von Kalium beträgt im Verlauf der Laktation durchschnittlich 18 %. Der Natriumgehalt nimmt mit Ausnahme der heißen Sommermonate (Juni/Juli 2003) mit der Laktation zu. Im Verlauf der Laktation steigt der Natriumgehalt durchschnittlich von 558 mg/l auf 765 mg/l an. Der Werteanstieg von Natrium beträgt 37 %. Bei der Betrachtung einzelner Euterviertel im Verlauf der Laktation ergeben sich über alle Tiere Mittelwerte, die in Tabelle 1 ersichtlich sind. Die vorderen Euterviertel liegen im Natriumgehalt durchschnittlich um 120 mg/l höher als die hinteren Euterviertel. Beim Kalium und der Leitfähigkeit sind die Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterviertel gering. Der Verlauf der Leitfähigkeit gestaltete sich unterschiedlich. Ein laktationstypischer Verlauf konnte nicht festgestellt werden. Im Vergleich zu den Literaturangaben wurden in den eigenen Untersuchungsergebnissen höhere Natriumwerte im Vorgemelk ermittelt.

Tab. 1: Mittelwerte von Natrium, Kalium und Leitfähigkeit aller Euterviertel während der Laktation

Euterviertel	Natrium (mg/l)	Kalium (mg/l)	Leitfähigkeit (25 °C) (mS/cm)
vorn links (vl)	888	1425	6,01
hinten links (hl)	793	1458	5,81
hinten rechts (hr)	656	1533	5,54
vorn rechts (vr)	805	1494	5,82

Tab. 2: Mittelwerte von Natrium, Kalium und Leitfähigkeit aller Euterviertel für Kuh 20 während der Laktation

Euterviertel	Natrium (mg/l)	Kalium (mg/l)	Leitfähigkeit (25 °C) (mS/cm)
vorn links (vl)	958	1361	5,8
hinten links (hl)	1439	1062	6,9
hinten rechts (hr)	864	1387	5,7
vorn rechts (vr)	797	1457	5,6

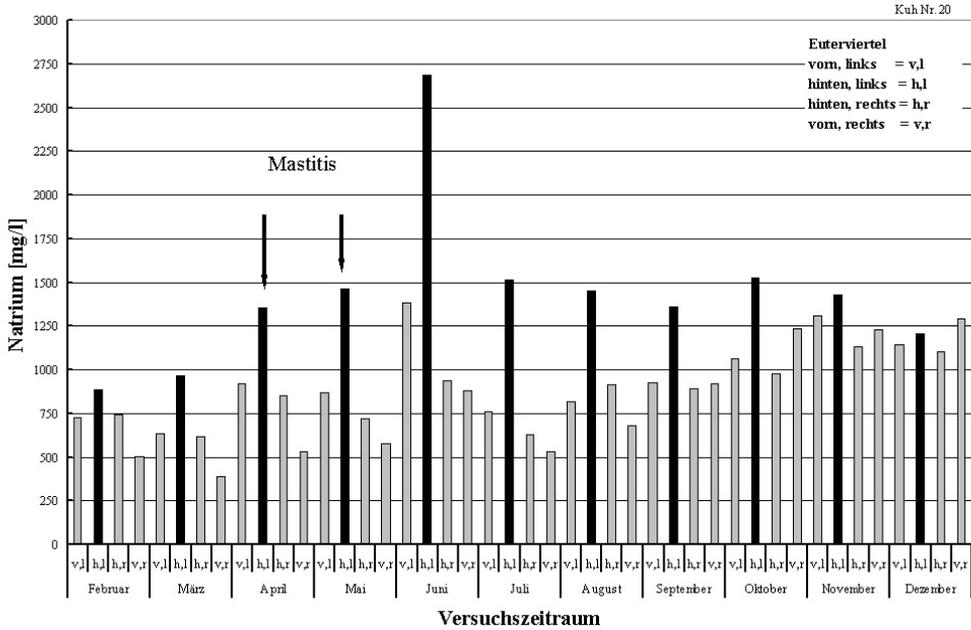


Abb. 1: Durchschnittlicher Natriumgehalt der 4 Euterviertel für Kuh 20 im Verlauf der Laktation

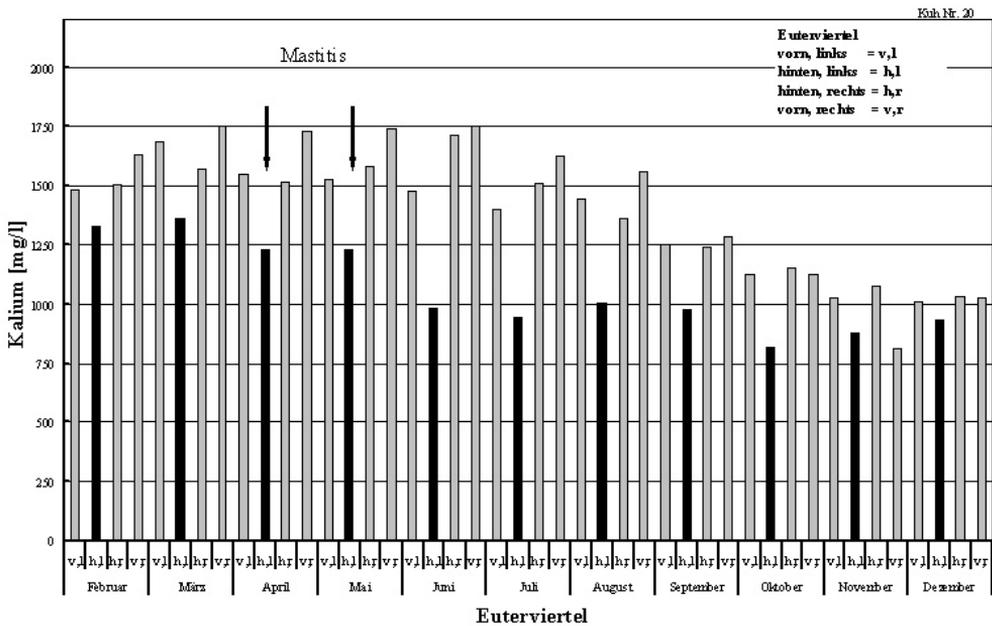


Abb. 2: Durchschnittlicher Kaliumgehalt der 4 Euterviertel für Kuh 20 im Verlauf der Laktation

Durch den Vorgang der Mittelwertbildung aller Euterviertel der Kühe werden Veränderungen im Euter überdeckt und bleiben unerkant. Der Mittelwert dient im Allgemeinen als Orientierungswert, weniger zur Einzeltierbeurteilung. Unter Berücksichtigung des physiologischen Aufbaus des Euters, indem jedes Euterviertel einen in sich abgegrenzten und geschlossenen Drüsenkomplex darstellt, ist daher die Betrachtung der einzelnen Euterviertel der Kühe Grundvoraussetzung. Am Beispiel der Kuh 20 werden die Ergebnisse dargestellt. In den Abbildungen 1 und 2 ist der durchschnittliche Natrium- und Kaliumverlauf für das Tier euterviertelgetrennt in der Laktationsperiode dargestellt. Die Tabelle 2 veranschaulicht die Durchschnittswerte pro Euterviertel für das Tier. Das Euterviertel hinten links hebt sich von den übrigen Eutervierteln ab. Im Verlauf der Laktation fand zur laktationsbedingten Veränderung (Anstieg Natrium und Abfall Kalium) eine zusätzliche Natriumerhöhung und zeitgleiche Kaliumverringernng statt. Laut Krankenbericht wurde bei dem Tier zweimal Mastitis (20.04.2003/01.05.2003) diagnostiziert.

#### 4 Schlussfolgerung

Natrium und Kalium bewegen sich im Vormelk in einem Wertebereich zwischen 1500 bis 1280 mg/l für Kalium und 550 bis 760 mg/l für Natrium: Unter Berücksichtigung der prozentualen Veränderungen von Natrium (Anstieg 37 %) und Kalium (Abfall 18 %) während des Laktationsverlaufs können Schwellenwerte ermittelt werden, die eine Euteränderung signalisieren könnten. Ein möglicher Schwellenwert für gesunde Euter zu kranken Eutern ist bei 700 mg/l für Natrium und 1400 mg/l für Kalium anzusetzen. Die Ergebnisse der Ionenmessungen von Natrium und Kalium leisten einen wichtigen Beitrag zum weiteren Verständnis der elektrischen Leitfähigkeit. Eine Eutererkrankung mit Hilfe der Leitfähigkeit als alleinigen Parameter zu bestimmen, erweist sich aufgrund seiner Schwankungen als problematisch. Unter Zuhilfenahme der leitfähigkeitsbestimmenden Ionen Natrium und Kalium, die einen laktationstypischen Verlauf zeigten, scheint es möglich eine Früherkennung von Euteränderungen vornehmen zu können. Doch derzeitige Ergebnisse lassen noch keine Verallgemeinerung der Erkenntnisse zu.

#### 5 Literatur

- [1] SCHULZ, E.; SYDOW, G. (1957): Die „chlorfreie“ Leitfähigkeit von Milch und Milchprodukten. Milchwissenschaft 12, S. 174–184.
- [2] DEUTSCHE VETERINÄRMEDIZINISCHE GESELLSCHAFT E. V. (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Hannover, 4. Auflage, Mai 2002, S. 23–28.
- [3] IDF-STANDARD (1987): Dried milk, determination of sodium, potassium contents (Flame, Photometric Method). International IDF-Standard 119, A, 1987, SQARE Vergot e. 41, 1040 Brüssel (B).



# Entstehung von Kräften am Euter durch unterschiedliche Schlauchführungssysteme bei Automatischen Melksystemen

## *Forces on teats at different design of tube systems in Automatic Milking Systems*

SANDRA ROSE<sup>1</sup>, HANS-JÖRG KLIMETSCHKE<sup>2</sup>, WOLFRAM HUSCHKE<sup>2</sup>, REINER BRUNSCH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam

<sup>2</sup> Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG), Prüfstelle für Landmaschinen, Lerchensteig 42, D-14469 Potsdam

**Schlüsselwörter:** Automatische Melksysteme, Melktechnik, Kraftmessungen

**Keywords:** *Automatic milking systems, machine-milking, force measurements*

### **Zusammenfassung**

Seit einigen Jahren haben sich die Automatischen Melksysteme (AMS) in der Melktechnik etabliert. Es werden von den einzelnen Herstellern unterschiedliche Systeme angeboten.

Ziel der Untersuchungen war es Aufschlüsse darüber zu bekommen, inwieweit sich die hauptsächlich durch die unterschiedliche Schlauchführung entstehenden Kräfte bei verschiedenen AMS unterscheiden. Die entstehenden Kräfte können das Zitzengewebe belasten, was eine mögliche Ursache für Eutererkrankungen darstellt. Um die auftretenden Dreh-, Hebel- und Vertikalkräfte zu erfassen wurde ein von der DLG entwickelter Prüfstand genutzt.

Hauptsächlich wirkte sich die unterschiedliche Schlauchführung auf die horizontalen Längs- und Querkkräfte aus. In einem nächsten Schritt sollen daher die konstruktionsbedingten Ursachen der auftretenden Kräfte genauer analysiert und neue technische Lösungen geschaffen werden.

### **Summary**

Since a few years Automatic Milking Systems (AMS) are working in many dairy farms. There is the possibility to choose between different types of AMS. One important variation between them is the design of tube systems. Because of this it is possible to get pulling of teats by different forces, which could be one reason for udder diseases. For measuring these forces a test machinery developed by DLG was used, which offers the possibility to measure four forces (vertical-, side-, turn-, and tilt force).

The main influence was detected by side- and tilt force. Many milking clusters have difficulties in adapting the cluster at different udder forms especially to stuffy udder. In systems where the four teat cups are directly connected to their individual tube without being gathered in a cluster, best results had been shown. In future the constructive parameters will be analyzed exactly and new technique solutions will be developed.

## 1 Melktechnik und Eutergesundheit

Obwohl zunächst angenommen wurde, dass mit der Einführung des Automatischen Melksystems möglicherweise eine Revolution in der Eutergesundheit eingeleitet werden kann, stellen die Eutererkrankungen trotz einigen Fortschritts noch immer eins der größten Probleme in der Milchviehhaltung dar. Eine mögliche Ursache ist im Melkprozess zu sehen. Das Tier steht in direktem Kontakt mit der Melkeinheit. Eine Reihe von Gründen können dabei zu Problemen führen. Die Positionierung der Melkeinheit bildet einen Komplex daraus.

Eine gute Positionierung zeichnet sich dadurch aus, dass alle Viertel gleichmäßig belastet werden und der Zitzenbecher mit dem Euterboden einen rechten Winkel bildet. Werden die Zitzen abgeknickt oder verdreht, kann dies zu Milchflussstörungen und einem schlechten Ausmelkgrad führen. Des Weiteren wird das Zitzengewebe unnötigen Belastungen ausgesetzt. Außerdem kann eine ungleichmäßige Positionierung Lufteinbrüche hervorrufen und somit die dadurch entstehenden Probleme auslösen.

Von den Herstellern der Automatischen Melksystemen werden unterschiedliche Konstruktionen der Melkeinheiten angeboten. Im Vergleich zum konventionellen Melkzeug weisen diese alle viertelindividuelle Konstruktionen auf, die sich aber im Einzelnen deutlich unterscheiden.

## 2 Ziele und Aufgaben

Ziel der Untersuchung war es Aufschlüsse darüber zu bekommen, inwieweit sich die hauptsächlich durch die Schlauchführung entstehenden Kräfte bei verschiedenen AMS unterscheiden. Im Besonderen wurde dabei die Anpassungsfähigkeit bei unterschiedlichen Euterformen getestet. Es sollte festgestellt werden, welche Schlauchführung eine möglichst optimale Ausrichtung der Melkbecher auch bei Problemeutern ermöglicht. Auf Grundlage dieser Ergebnisse sollen die Schlauchführungssysteme technisch verbessert werden, um eine möglichst optimale Positionierung auch bei stufigen Euterformen zu erreichen. Dies könnte einen Beitrag zur Verbesserung der Melkarbeit und somit zur Gesunderhaltung des Euters leisten.

Um die auftretenden Kräfte erfassen und analysieren zu können, hat die DLG einen Prüfstand entwickelt, welcher die Möglichkeit bietet die Vertikal-, Dreh-, und Hebelkräfte zu messen. Des Weiteren können verschiedene Euterformen (normal, stufig, weitstehend) untersucht werden [1, 2].

## 3 Methodik

### 3.1 Messsystem

Es erfolgt eine gleichzeitige Messung der vier Kräfte. Die Messwerte werden online erfasst und können sofort auf dem PC ausgewertet werden.

Die Funktionsweise der Messaufnehmer beruht auf dem Prinzip der DMS-Kraftmessung über Verformungskörper in Brückenschaltung. Die Zitzen sind aus Silikon gefertigt (nach DIN ISO 6690) und über einen Dämpfer mit dem Messglied verbunden. Es besteht die Möglichkeit der Flüssigkeitsdurchführung, sowie der Vakuum-Nassmessung am Zitzenende.

### 3.2 Praxiseinsatz

Der Prüfstand ist variabel in allen Melkstandsystemen einsetzbar. Die Messungen erfolgten mit einem euterbezogenen Durchfluss von 5kg/min, da die Durchflusshöhe nur einen geringen Einfluss hat [1]. Pro Einstellung wurden fünf Messdurchgänge durchgeführt. Die Messzeit je Durchlauf betrug 30s, die daraus resultierenden 30 Einzelwerte bilden die Grundlage für die anschließenden Mittelwertberechnungen. Der Ansetzvorgang konnte wie im normalen Melkprozess selbstständig vom AMS durchgeführt werden.

Zu jedem getesteten Fabrikat wurden mindestens zwei AMS untersucht, um eventuelle Fehleinstellungen auszuschließen. Alle Versuche wurden mit „normaler“ und teilweise auch „stufiger“ Euterform, sowie bei „optimaler Kuhposition“ durchgeführt [1].

- Fabrikat A: einzelne Schlauchführung bei jedem Becher
- Fabrikat B: Roboterarm mit einzelnen Verbindungsleinen zum Zitzenbecher
- Fabrikat C: bewegliche Melkeinheit

## 4 Ausgewählte Ergebnisse

### 4.1 Vertikalkräfte

Viele Melkzeuge haben Probleme bei der Anpassung der Melkbecher an das Euter im Besonderen bei stufigen Euterformen. Abbildung 1 zeigt die durchschnittlichen Vertikalkräfte bei den drei untersuchten Fabrikaten. Die mittlere Vertikalkraft beträgt 7,1N. Die Vertikalkraft setzt sich hauptsächlich aus dem Gewicht der Melkeinheit zusammen. Die Schwankungsbreite liegt zwischen 6 und 8 Newton. Betrachtet man die einzelnen Fabrikate so zeigt sich bei allen ein relativ ausgeglichenes Kräfteverhältnis zwischen den einzelnen Zitzen. Die Standardabweichungen sind zusätzlich gering, was für eine konstant gleichmäßige Gewichtsverteilung auf alle vier Zitzen spricht. Im Hinblick auf die Vertikalkräfte ergeben sich nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Fabrikaten. Dies lässt sich durch die viertelindividuelle Melkzeug-Konstruktion bei allen Systemen begründen.

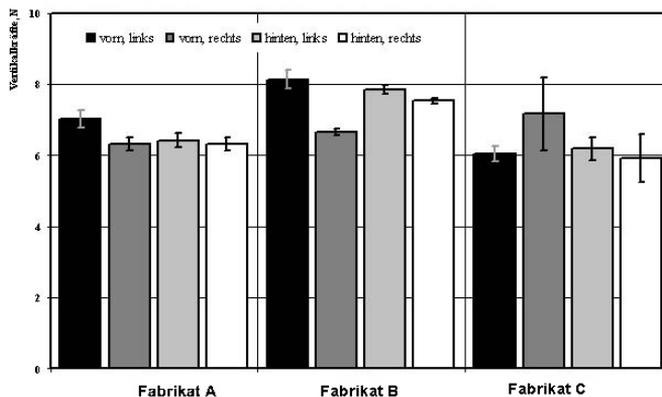


Abb. 1: Mittlere Vertikalkraft an den Zitzen bei verschiedenen Automatischen Melksystemen  
Average verticalforce at the teats in different Automatic Milking Systems

## 4.2 Drehmoment

Die Entstehung von Drehkräften ist hauptsächlich auf den Ansetzvorgang zurückzuführen. Diese können sowohl in positiver (entgegen dem Uhrzeigersinn) als auch in negativer Richtung (im Uhrzeigersinn) auftreten.

Im Bezug auf die entstandenen Drehkräfte ergibt sich ein überwiegend positives Bild für alle untersuchten Fabrikate (Abbildung 2). Die absoluten Werte liegen in einem Bereich von nahezu 0 (optimaler Fall) bis 2 Newton. Auffällig sind die hohen Standardabweichungen bei Fabrikat B. Der Ansetzvorgang scheint Unregelmäßigkeiten aufzuweisen. Besonders die Drehkraft hinten links, lässt auf Probleme beim Ansetzvorgang schließen. Aber auch ein verdrehter Zitzengummi kommt als Ursache in Frage.

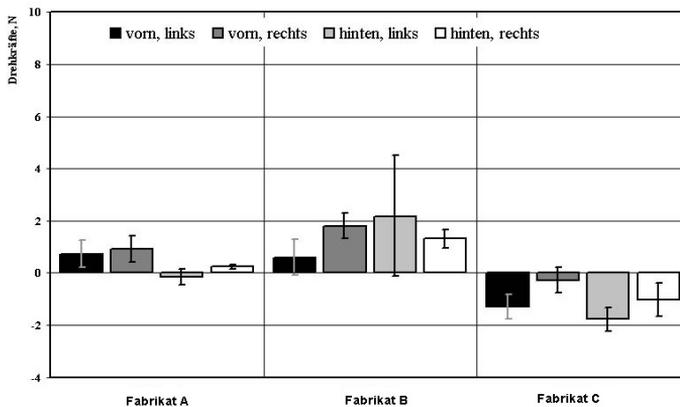


Abb. 2: Mittlere Drehkraft an den Zitzen bei verschiedenen Automatischen Melksystemen  
Average turn force at the teats in different Automatic Milking Systems

## 4.3 Horizontalkräfte

Hierbei wurde die resultierende Horizontalkraft betrachtet. Diese berechnet sich aus der horizontalen Längs- und Querkraft (Kipp- und Seitenkräfte). Die resultierenden Horizontalkräfte der Vorderviertel welche in Abbildung 3 dargestellt sind, zeigen keine extremen Abweichungen vom Zitzenmittel. Allerdings weisen Fabrikat A und B im Vergleich zu Fabrikat C höhere Abweichungen in Richtung Kuhkopf auf. Bei Fabrikat C ist eher eine Zugkraft in entgegengesetzter Richtung zu beobachten. Die Ursache dafür ist bei allen Fabrikaten in der Becher/Schlauchführung zu suchen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Horizontalkräften der Hinterviertel (Abbildung 3). Wie im Falle der Vorderviertel ist bei den Fabrikaten A und B eine resultierende Kraft in Richtung Kuhkopf bzw. erhöhte Querkräfte zu beobachten. Diese entstehen durch die im Vergleich zu den Vordervierteln engstehenden hinteren Zitzen und können besonders bei kleinen Eutern, also vornehmlich bei Tieren in der 1. Laktation oder zum Ende der Laktation zu Problemen führen. Bei Fabrikat C liegen die Längskräfte wieder in der entgegengesetzten Richtung im Vergleich zu Fabrikat A und B.

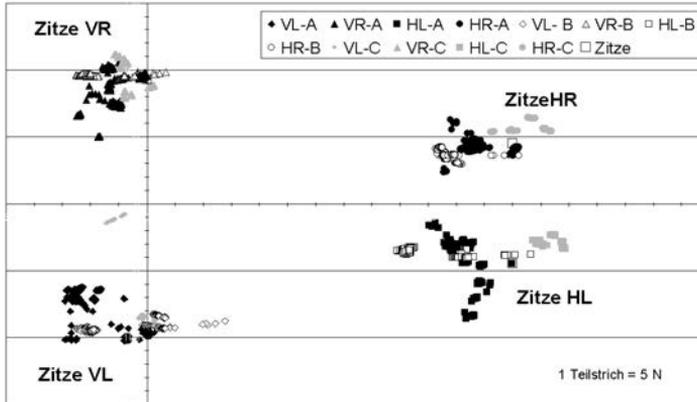


Abb. 3: Resultierende Horizontalkräfte an den Zitzen  
*Resulting horizontal force at the teats*

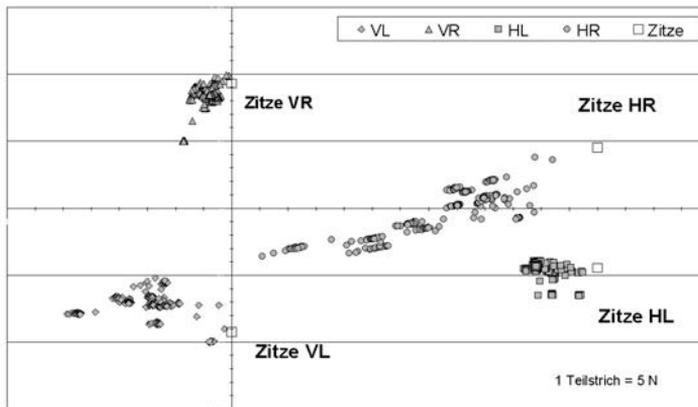


Abb. 4: Resultierende Horizontalkräfte an den Zitzen mit defekter Schlauchführung hinten rechts  
*Resulting horizontal force at the teats with a technical tube defect right rear*

Des weiteren kann der Prüfstand dazu beitragen technische Probleme aufzudecken. In Abbildung 4 fällt eine hohe Streuung der resultierenden Horizontalkraft bei Fabrikat A an der Zitze hinten rechts auf. Die Ursache dafür ist in Abbildung 5 zu erkennen. Ein technischer Defekt verhinderte die gesamte Ausrollung des Schlauches. Somit konnte der Zitzenbecher nicht vertikal zum Euterboden ausgerichtet werden, was zu einer deutlichen Erhöhung der horizontalen Längs- und Querkraft führte, welche sich in den hohen Abweichungen vom Zitzenmaß widerspiegeln. Ein ähnliche Feststellung konnte bei Fabrikat C getroffen werden. Dort ist eine deutliche Abweichung vom Mittel bei der resultierenden Horizontalkraft hinten links festgestellt worden. Dies wurde durch eine defekte Aufhängung des Zitzenbecher hervorgerufen, wodurch eine ausgeglichene Positionierung nicht mehr möglich war.

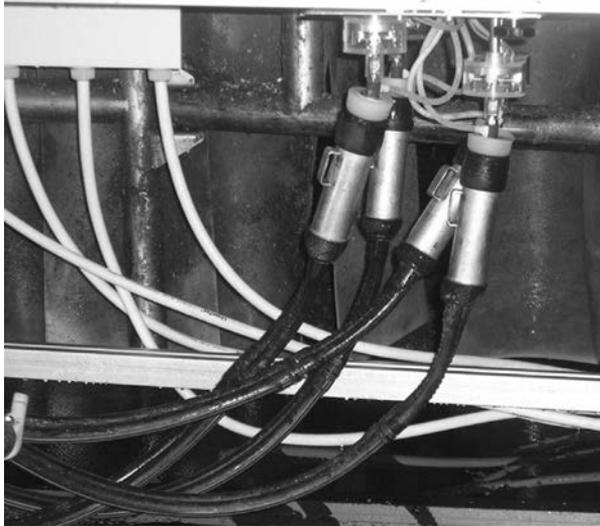


Abb. 5: Fabrikat A mit defekter Schlauchführung hinten rechts  
*Fabricate A with a technical tube defect right rear*

## 5 Schlussfolgerungen

In Betrachtung der entstehenden Kräfte an den Zitzen sind die Automatischen Melksystemen im Allgemeinen als gut zu bewerten. Die Anpassungsfähigkeit der Melkbecher kann sehr positiv für die Eutergesundheit gesehen werden. Dadurch können die Kräfte an den Zitzen minimiert werden. Dies ist ein möglicher Vorteil für die Eutergesundheit im Vergleich zum konventionellen Melksystem. Allerdings können auch Positionierungsprobleme auftreten wie in Abbildung 4 zu sehen ist. In konventionellen Melksystemen beeinflussen diese hauptsächlich die Melkzeugkonstruktion und der Melker. Im Automatischen Melksystem liegt der größte Einfluss in der Zuverlässigkeit der arbeitenden Technik. Insgesamt betrachtet lassen sich Unterschiede bei den einzelnen Systemen erkennen, welche analysiert und daraus folgend technisch verändert werden sollten.

## 6 Literatur

- [1] HUSCHKE, W. (2003): Beschreibung zum Prüfstand für Dreh-, Hebel-, und Vertikal-Kräfte, Informationsmaterial zum Prüfstand der DLG.
- [2] GEIDEL, S. (2001): Ermittlung der Eutermaße an 1700 HF-Kühen (persönliche Mitteilung, unveröffentlicht).
- [3] ROSE, S.; ERICKSON, J.; BØRSTING, C.; BRUNSCH, R.; SCHERPING, E.; KLIMETSCHKE, J. (2004): Forces on teats in Voluntary Milking Systems, Internetveröffentlichung. [http://www.kfc-foulum.dk/artikler/Tysk%20yver\\_artikel.htm](http://www.kfc-foulum.dk/artikler/Tysk%20yver_artikel.htm).

## Optimieren des Fließprofils in Kraftfuttersilos zum Vermeiden von Pilzen und Toxinen

### *Optimisation the flowing profile in silos for concentrated feedstuff for avoiding fungi and toxins*

CHRISTIAN FÜRL, THOMAS SCHURICHT

Institut für Agrartechnik Bornim, Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“, Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam

**Schlüsselwörter:** Konzentratfutter, Lagerung, Silo, Pilze, Toxine

**Keywords:** *Concentrated feedstuff, storage, fungi, toxins*

### **Zusammenfassung**

Kraftfuttersilos haben in Anlagen der Tierhaltung die Aufgabe das Kraftfutter über einen bestimmten Zeitraum zu lagern und nach Bedarf in die Fütterungslinie dosiert abzugeben. Die Entnahme soll so erfolgen, dass die Verweilzeiten des Futters einheitlich sind. Außerdem soll nach dem Entleeren das Silo innen vollständig sauber sein und keine Reste mehr enthalten. Andernfalls kommt es zum Verderben des Futters, und es entwickeln sich in den Futterresten Pilze und Toxine. Das gleichmäßige Entleeren wird erreicht, wenn die Silos als Massenflusssilos konstruiert werden. In der Praxis vorhandene Silos sind oftmals nicht als Massenflusssilos ausgebildet. Hier ist Massenfluss zu erzielen, wenn entsprechende Einbauten in den Siloausläufen installiert werden. Deshalb wurden am Institut für Agrartechnik detaillierte Untersuchungen für das Optimieren des Fließprofils mit Hilfe des Prinzips „Trichter im Trichter“ durchgeführt.

### **Summary**

Concentrated feedstuff silos have the task of storing the concentrated feedstuff over a particular time period and handing in to the feeding line measured out as required in plants of the animal husbandry. The unloading shall be so carried out that the residence time of the feedstuff is uniform. In addition, the silo shall be inside completely clean and remains contain no more after emptying. Otherwise it comes to the ruin and it develops in the feedstuff remains fungi and toxins. Emptying evenly is reached if the silos as mass flow silos are designed. Often, available silos aren't designed as mass flow silos in the practice. Mass flow has to be obtained here if suitable inserts in the silo hopper are installed. Therefore detailed examinations were carried out for optimizing the flowing profile with the help of the principle "cone in cone" at the Institute for agricultural engineering.

## 1 Einführung

In Deutschland werden etwa  $\frac{2}{3}$  des gesamten Getreides als Futtergetreide verwendet. Davon wiederum bleiben etwa  $\frac{2}{3}$  im Landwirtschaftsbetrieb, werden dort gelagert und dann entsprechend dem Bedarf zu Konzentratfutter aufbereitet. Nach dem Mahlen und Mischen erfolgt vor dem Verfüttern die Lagerung in Silos. Diese Trockenmischfuttersilos haben in Anlagen der Tierhaltung verfahrenstechnisch vor allem die Aufgabe, zwischen diskontinuierlicher Anlieferung und kontinuierlichem Verbrauch auszugleichen. In vielen Fällen müssen bei der Entnahme auch Dosieraufgaben bei Einhaltung zulässiger Fehler übernommen werden. Von der Funktion her wird besonders in größeren Anlagen mit automatisiertem Betrieb störungsfreie Entnahme gefordert.

Bei der Lagerung von Konzentratfutter in Silos muss die Entleerung streng nach dem Prinzip „first in – first out“ erfolgen. Auf jeden Fall ist die Bildung von Pilzen und Hefen sowie Toxinen oder gar Verderb des Futters zu vermeiden. Die Verweilzeiten der einzelnen Gutzonen im Silo müssen deshalb nahezu gleich sein. Toxine sind Lebensmittelgifte und gefährden nicht nur die Tiergesundheit, sondern beeinflussen in hohem Maß die Qualität von Milch und Fleisch.

Aus der Sicht der Tierernährung darf die Entmischung wertbestimmender Inhaltsstoffe bestimmte Grenzen nicht überschreiten. Schließlich sind beim Befüllen von Silos die gesetzlichen Bestimmungen der Luftreinhaltung einzuhalten.

## 2 Fließtechnische Dimensionierung

Die optimale fließtechnische Dimensionierung von Trockenmischfuttersilos erfordert die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften. Mit Hilfe von Translations- oder Ringschergeregäten werden die Fließorte eines Guts und die Wandfließorte ermittelt. Die Fließorte geben den Zusammenhang zwischen der Scherspannung  $\tau$  und der Normalspannung  $\sigma$  im Fließzustand an. Bei höheren Gutdichten erhält man bei gleichen Normalspannungen höhere Scherspannungen. Für die Berechnung der Auslaufabmessungen ist die Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeit von der Hauptnormalspannung  $\sigma_1$  maßgebend.

Wird bei den Schergeregäten eine Paarung durch das Wandmaterial ersetzt, ist die Bestimmung des Wandfließortes möglich. Dieser drückt den Zusammenhang zwischen der Wandcherspannung  $\tau_x$  und der Normalspannung  $\sigma$  aus. Der Anstieg dieser meist linearen Funktion ist der Wandreibungswinkel  $\varphi_x$ .

Mit Hilfe des Wandreibungswinkels  $\varphi_x$  und des effektiven Reibungswinkels  $j_e$ , der sich aus dem Anstieg der Verbindungsgeraden aller Fließortendpunkte und dem Ursprung ergibt, wird der Neigungswinkel  $\Theta$  der Trichterwände zur Vertikalen bestimmt (JENIKE, 1964) (Abb. 1).

Für Massenfluss ergeben sich in der Regel sehr steile Wände mit  $\Theta \leq 20^\circ$ . Neben diesem Nachteil haben Massenflusssilos jedoch die beiden großen Vorteile, dass der Geschwindigkeitsgradient des Füllgutes bei der Entnahme über dem Querschnitt klein und dadurch das Prinzip „first in-first out“ gesichert ist, und dass die Neigung zur Brückenbildung gering ist. Deshalb sind die Entmischungskennwerte auch meist kleiner als bei Kernflusssilos. In Kernflusssilos wird das zuletzt eingelagerte Gut zuerst entnommen (Abb. 2).

Werden Silos befüllt bevor sie vollständig leer sind, bleiben immer die gleichen Gutzonen im Silo. Dies und das Anhaften von Gutresten an der Siloinnenwand führen zum Verderb

bzw. zur Bildung von Pilzen und Toxinen. Besonders im Bereich „Toter Zonen“, die sich während der größten Zeit des Entleerens nicht bewegen, kommt es zu Anhaftungen an der Siloinnenwand. Dieser Vorgang wird durch Kondenswasserbildung begünstigt.

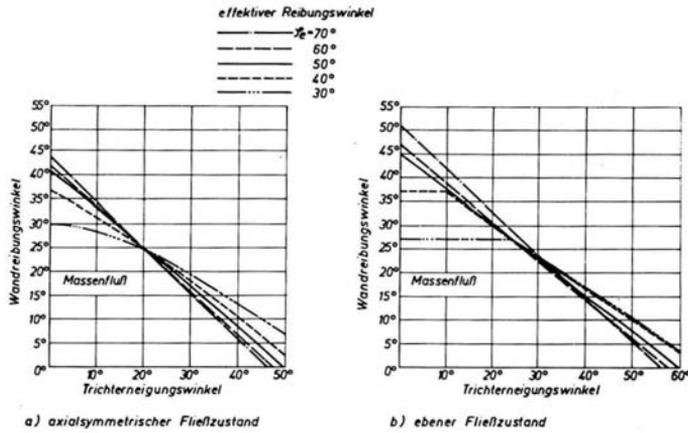


Abb. 1: Auslegungdiagramme für Massenfluss- und Kernflusssilos

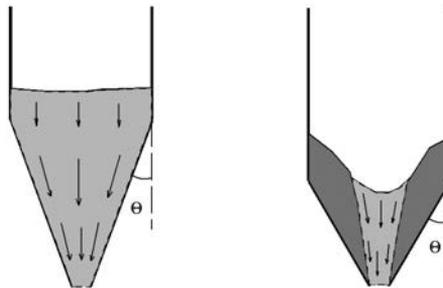


Abb. 2: Massenfluss und Kernfluss bei der Entnahme von Kraftfutter aus Silos

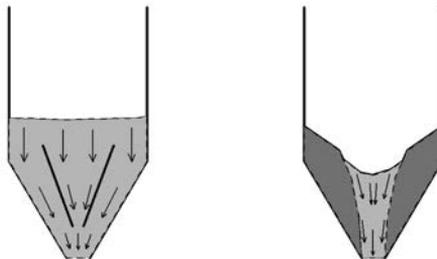


Abb. 3: Erzeugen von Massenfluss mit Hilfe des „cone in cone“-Konzeptes (links) in ursprünglichen Kernflusssilos (rechts)

Massenflusssilos erfordern meist sehr geringe Trichterneigungswinkel zur Vertikalen. Damit erhält man sehr hohe Trichter und Stützen, die für die festigkeitgerechte Dimensionierung ungünstige Lastfälle darstellen. Deshalb sind Massenfluss-Silokonstruktionen immer teuer. Aus diesem Grund gab und gibt es vielfältige Bemühungen, mit Hilfe von Einbauten in Kernfluss-Silotrichtern Massenfluss zu erzeugen. Kernflusssilos haben größere Trichterwinkel zur Vertikalen und damit geringere Trichter- und Stützenhöhen.

Untersuchungen an einer Großsilanlage ergaben, dass durch das optimale Installieren von starren koaxialen Einbauten, d.h. Kegel mit der Spitze nach oben, in Kernflusssilos Massenfluss entsteht (SCHOLZ, 1988). Nachteilig ist allerdings die relative Empfindlichkeit für asymmetrisches Fließen, wenn z. B. mit der Spitze nach oben gerichtete Kegel nicht genau zentrisch eingebaut sind oder wenn die Fließeigenschaften des Gutes durch Entmischung während des Füllens nicht symmetrisch zur Siloachse verteilt sind. Das „cone in cone“-Konzept (Abb. 3) eröffnet ebenfalls die Möglichkeit für das Erzeugen von Massenfluss in ursprünglichen Kernflusssilos (JOHANSON, 1982).

### 3 Theoretische Untersuchungen

Die Vorhersage des Fließverhaltens von Kraftfutter bei der Lagerung in Silos erfolgt in theoretischen Untersuchungen zunehmend durch den Einsatz der Finite-Elemente-Methode (FEM) und leistungsfähigen Modellen für die Stoffeigenschaften (SCHURICHT und FÜRL 2000). Der gewählte makroskopische Ansatz betrachtet den vom Schüttgut eingenommenen Raum als ein Kontinuum. Dieser Weg führt über das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten auf die Methode der Finite-Elemente (FEM). Mit Hilfe der FEM wird ein Untersuchungsgebiet in kleine Elemente diskretisiert (Abb. 4).

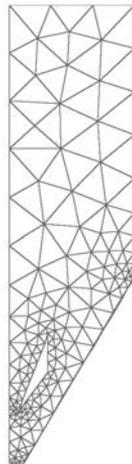


Abb. 4: FEM-Berechnungsnetz durch Diskretisieren des Schüttgutes nach der Methode der Finiten Elemente (FEM)

Die Lösung des Gleichungssystem führt auf Näherungslösungen in den generierten Elementknoten. Dazu wurde ein vorhandenes Silo-Flow-Program-System verwendet, das das Schüttgut als Fluid definiert. Das in diesem Programm enthaltene Materialgesetz wurde weiterent-

wickelt und in das Programm implementiert. Dazu war in experimentellen Untersuchungen das nichtlineare Verhalten von Kraftfutter zu bestimmen und zu modellieren. Grundlage der Spannungs-Verzerrung-Matrix sind konstitutive Gleichungen nach dem Konzept der Elasto-Visko-Plastizität. Als Fließbedingungen dienen eine Kombination aus dem Ansatz von DRUCKER-PRAGER und einer Fließkappe für das Kompressionsverhalten. Die Ergebnisse aus durchgeführten numerischen Simulationen zeigen die erfolgreichen Möglichkeiten der FEM zum Optimieren von Fließprofilen. Mit den berechneten Vorhersagen kann das Eintreten von Massenfluss und Kernfluss bei der Entnahme des Kraftfutters differenziert beurteilt werden.

#### 4 Ergebnisse großtechnischer Untersuchungen

Durch das Installieren eines optimierten Einbautrichters in einem Kernflusssilo wird Massenfluss erzielt bei dem die Entnahme des Kraftfutters nach dem „first in – first out“ – Prinzip erfolgt. Aufgabe des Einbautrichters ist es, Entmischungen sowie unterschiedliche Verweilzeiten und damit Schimmelbildung im Kraftfutter während der Entnahme aus dem Silo zu vermeiden. Die Ergebnisse der numerischen Simulation wurden durch großtechnische Siloversuche validiert (HJORTAAS 1996), (SCHURICHT, Th., FÜRL, Ch., ENSTAD, G. G. 2000), (SCHURICHT, Th., FÜRL, Ch. 2000), (SCHURICHT 2004).

Das Versuchssilo hat eine Höhe von 8 m und einen Durchmesser von 2,4 m. Die Trichterhöhe beträgt 1,86 m und der Auslaufdurchmesser 250 mm. Aufgrund des Trichterwinkels zur Vertikalen von  $30^\circ$  und den entsprechenden Wandreibungswinkeln für Getreideschrot erfolgt das Ausfließen ohne Einbauten im Kernfluss. Der in den Versuchen verwendete Einbautrichter hat eine Höhe von 800 mm, einen oberen Durchmesser von 733 mm und einen Auslaufdurchmesser von 150 mm, der etwas größer als der aus den Scherversuchen berechnete Durchmesser von 130 mm ist. Zur Analyse des Fließprofils werden in das Füllgut in der Höhe des Trichter/Zylinder-Übergangs und in einer zweiten Ebene 2,4 m darüber jeweils in 2 um  $90^\circ$  versetzten diametralen Richtungen Markierungen eingelegt (Abb. 5).

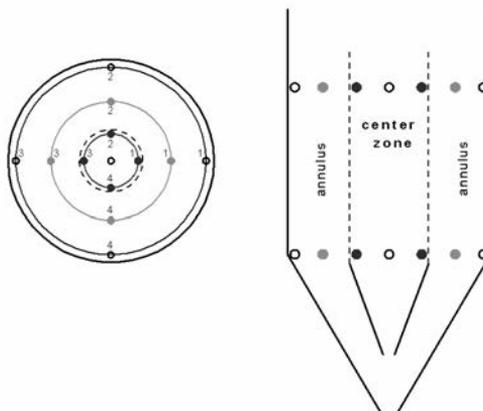


Abb. 5: Lage der Markierungen im Kraftfutter

Durch das Installieren des inneren Trichters wird das Fließprofil wirkungsvoll beeinflusst. Der Geschwindigkeitsgradient des Gutes jeder Ebene vermindert sich, wenn die Einbauhöhe  $h_1$  stufenweise von 848 mm bis auf 294 mm verringert wird (Abb. 6).

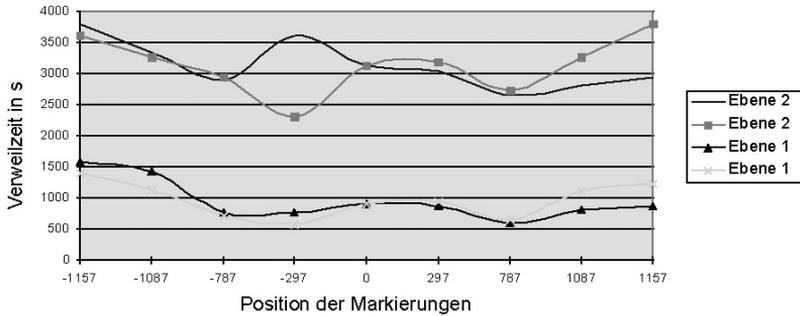


Abb. 6: Ausfließen des Kraftfutters bei der optimalen Einbauhöhe des installierten inneren Trichters  $h_1 = 294$  mm über dem Auslauf

Bei der Entnahme im Massenfluss, d. h. in parallelen Schichten von unten nach oben, gleitet das Gut wie ein Block dem Siloauslauf entgegen. Dadurch werden infolge der Gutreibung die Siloinnenwände gesäubert, so dass keine Gutreste anhaften. In solchen Silos ist die Oberfläche der Siloinnenwände metallisch blank.

## 5 Literatur

HJORTAAS, T. (1996): Full scale silo tests of the cone in cone concept for obtaining mass flow. Diplomarbeit, Bornim.

JENIKE, A. W. (1964): Storage and Flow of Solids. Bull. 123, Utah University.

JOHANSON, J. R. (1982): Controlling Flow Patterns in Bins by Use of an Insert, bulk solids handling 2 (1982) 3, S. 495–498.

SCHOLZ, V. (1988): Untersuchungen zur Anordnung starrer coaxialer Einbauten in Schüttgutbehältern. Dissertation Univ. Rostock, 1988.

SCHURICHT, Th. (2004): Analysen des Fließverhaltens von Schüttgut in einem Kernflusssilo mit Einbautrichter. Dissertation, TU Braunschweig 2004.

SCHURICHT, Th.; FÜRL, CH. (2000): Full Scale Siloversuche und vergleichende numerische Simulationen für das Trichter im Trichter Konzept für Massenfluss, Interne Arbeitssitzung der Fachausschüsse "Agglomerations- und Schüttguttechnik" der GVC-VDI-Gesellschaft für Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen vom 3.–5. April 2000 in Erfurt.

SCHURICHT, Th.; FÜRL, CH.; ENSTAD, G. G. (2000): Full scale silo tests and numerical simulations of the "cone in cone" concept for mass flow, proceedings at the 3rd Israeli conference for conveying and handling of particulate solids, Volume 1, 29.05–01.06.2000, Grand Nirvana Hotel, The Dead Sea, Israel.

SCHURICHT, Th; FÜRL, Ch. (2000): Full scale silo tests and numerical simulations of the "cone in cone" concept for mass flow, S. 50-51, Abstracts Part 2, EurAgEng2000, 2–7 July 2000, University of Warwick, UK.

## Ein neues Fütterungssystem für Absetzferkel – der Ferkelfeeder A new feeding system for weaner pigs – the Ferkelfeeder

STEPHANIE KNOOP, STEFFEN HOY

Institut für Tierzucht und Haustiergenetik; Abteilung Tierhaltung und Haltunqsbiologie der Justus-Liebig-Universität Gießen, D-35390 Gießen

**Schlüsselwörter:** Fütterung, Absetzferkel  
**Keywords:** Feeding, weaner pigs

### Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war die Entwicklung eines Fütterungssystems für Absetzferkel, das die arttypischen Verhaltensweisen der Tiere bei der Futteraufnahme ermöglicht und zudem ihre Gesunderhaltung und Leistung fördert. Dazu wurden Anforderungen wie z. B. die häufige Ausdosierung kleiner Futterportionen, rationierte Fütterung zur Durchfallprophylaxe mit späterer ad libitum Fütterung im selben System und gute Futterhygiene trotz breiförmiger Futterkonsistenz durch die Fütterungstechnik erfüllt.

Die Untersuchungen zum Ferkelfeeder, sowohl in der Variante Längstrog als auch in der Variante Kurztrog wurden auf zwei Betrieben im Vergleich zum Breiautomaten durchgeführt. Es wurden die Gewichtsentwicklung, der Futter- und Wasserverbrauch sowie der Gesundheitsstatus der Ferkel berücksichtigt. Die täglichen Zunahmen der Ferkelfeedergruppen waren durchschnittlich um 25 g höher, die Futtermittelverwertung und auch der Gesundheitsstatus der Ferkel (untersucht nur in Betrieb 1) waren besser als der der Breiautomatengruppe.

### Summary

The aim of this study was to develop a feeding system that allows for the species specific behaviour patterns of weaner piglets as well as promote their health and development. For this, requirements such as frequent supply of small feed portions, rationed feed as diarrhoea prevention and later ad libitum feeding were incorporated in one system, as well as good feed hygiene despite the paste like consistency of the feed.

The Ferkelfeeder was compared with tupe feeders on two farms, both the long trough and short trough systems were used. Weight gain, feed and water usage as well as the health status of the piglets were measured. On average the Ferkelfeeder groups gained an extra 25g daily by better feed usage when compared to the groups at tupe feeders. The health status (only ascertained on farm 1) was also improved by the Ferkelfeeder.

## 1 Einleitung

Das Absetzen von der Sau stellt eine kritische Phase in der Entwicklung der Ferkel dar, die durch verschiedene Stressfaktoren bestimmt wird. Die Absetzferkel werden in eine völlig neue Umgebung verbracht, was ein verändertes Keimmilieu, Kontakt zu Ferkeln anderer Herkünfte und Rankämpfe durch Bildung neuer Gruppen zur Folge hat. Vor allem aber spielt die Futterumstellung eine große Rolle (HOY 2004, SNELL et al. 2003).

Die Nahrung der Ferkel vor dem Absetzen besteht fast vollständig aus Milch, die ihnen im Tagesverlauf regelmäßig in etwa stündlichen Abständen angeboten wird. Die Futteraufnahme findet ausschließlich synchron statt (BOGNER et al. 1984; SAMBRAUS 1978).

Mit dem Absetzen erfolgt die Umstellung auf meist festes Futter, das den Tieren häufig ad libitum zur Verfügung gestellt wird. Das Tier-Fressplatz-Verhältnis ist hierbei oft eingeschränkt (DEN HARTOG et al. 2002).

Einige der Stressfaktoren sind unumgänglich, andere dagegen können durch gezielte Managementmaßnahmen vermindert oder sogar vermieden werden. So kann die Futterumstellung von Sauenmilch auf Aufzuchtfutter nach dem Absetzen nicht vermieden, jedoch die negativen Folgen der Umstellung, wie z. B. der Leistungsabfall oder Durchfallerkrankungen, durch rechtzeitiges Anfüttern der Ferkel und durch das Fütterungsmanagement in den ersten Tagen nach dem Absetzen abgeschwächt werden.

Aus diesem Grund werden an Fütterungssysteme für Absetzferkel besondere Ansprüche gestellt. Als günstige Futterkonsistenz gilt eine der Sauenmilch ähnliche Konsistenz des Futters – flüssig, zumindest aber breiförmig. Synchrones Fressen der Ferkel sollte möglich sein. Viele kleine Mahlzeiten unterstützen die Ferkelgesundheit (NIGGEMEYER 2000, FELLER 2000, LEHMANN 1999). Günstig für eine hohe Leistung schon vom Zeitpunkt des Absetzens an ist eine schnellstmögliche Eingewöhnung der Ferkel, die am Zeitraum bis zur ersten Futter- bzw. Wasseraufnahme nach dem Absetzen festgemacht werden kann (NIGGEMEYER 2000). Natürlich ist auch gute Hygiene unabdingbar.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Fütterungstechnik

Bei der Entwicklung des Ferkelfeeders wurde versucht, den physiologischen Ansprüchen der Absetzferkel ebenso gerecht zu werden wie den hohen Anforderungen des Managements an eine Absetzferkelfütterung.

Rationierte Fütterung in den ersten Tagen nach dem Absetzen mit anschließender ad libitum Fütterung im selben System hilft, gesundheitliche Probleme, z. B. durch *E. coli*, zu umgehen. Sie beugt Durchfallerkrankungen vor, und die Ferkel können optimale Leistungen erbringen. Dem arttypischen Fressverhalten der Ferkel wird mit einer möglichst häufigen Ausdosierung kleiner Futterportionen entsprochen.

Das Tier-Fressplatz-Verhältnis beträgt bei der rationierten Fütterung 1:1 und ermöglicht so ein synchrones Fressen der Tiere.

Der Ferkelfeeder wurde in zwei verschiedenen Varianten, als Doppelkurztrog mit einem Tier-Fressplatz-Verhältnis von 4:1 und als Doppellängstrog mit dem Tier-Fressplatz-Verhältnis

von 1:1 entwickelt, erprobt und im Praxisbetrieb eingesetzt. Das Funktionsprinzip beider Varianten ist gleich.

Der Ferkelfeeder besteht aus einem Doppeltrog mit einer mittigen Trennwand bis ca. 12 cm über der Trogsohle. Zudem richten Fressplatzteiler im Abstand von 30 cm die Ferkel am Trog aus.



Abb. 1: Ferkelfeeder – Längstrogvariante  
*Ferkelfeeder – long trough*

Die Fütterungszeiten werden durch eine Zeitschaltuhr an der Fütterungssteuerung ausgelöst. Um die Fütterung an den tatsächlichen Verbrauch der Ferkel anzupassen, ist ein Trogsensor im Einsatz. Nur wenn der Sensor „leer“ meldet, laufen die nächsten Schritte der Fütterung ab.

Eine Fütterungszeit beginnt mit der Ausdosierung einer definierten Menge Wasser über ein Magnetventil, danach erfolgt die Futtergabe über Volumendosierer. Die Volumendosierer werden über eine Rohrketten- oder Futterspirale beschickt und münden in Fallrohren, die in die Trennwand des Troges eingelassen sind. Ein Volumendosierer beliefert so vier bzw. bei Einsatz eines Y-Stückes am Fallrohr acht Fressplätze. Das Futter wird direkt auf das im Trog stehende Wasser dosiert, und die Tiere mischen den Futterbrei selbst an. Die breiförmige Futterkonsistenz bedingt mit einer guten Futterakzeptanz die schnelle Eingewöhnung der Ferkel, und durch die Anmischung des Breis erst im Trog ist eine gute Futterhygiene gewährleistet.

Im Abstand einer frei regelbaren Zeitspanne wird nach der Fütterung nochmals Wasser ausdosiert. Dieses Wasser dient der Trogreinigung, außerdem wird den Ferkeln eine offene Wasserfläche als Zusatztränke angeboten, die diese gern annehmen.

Die allmähliche Umstellung von rationierter auf ad libitum Fütterung erfolgt in der zweiten Woche nach dem Absetzen. Gefüttert wird dann in mehreren Blöcken über den Tag verteilt, wobei jeder Block 4 Fütterungszeiten umfasst. Ein zusätzlicher Block mit nur 2 Fütterungszeiten liegt nachts in der Zeit von 0 Uhr bis 1 Uhr.

Nach jeder Fütterungszeit steht auch hier Wasser zur freien Aufnahme im Trog. Die Füllstandskontrolle im Trog verhindert ein Überlaufen.

## 2.2 Eigene Untersuchungen

Die Erprobungen des Fütterungssystems in beiden Varianten finden auf zwei Betrieben statt.

In zwei klimatisierten Abteilen der Lehr- und Forschungsstation Oberer Hardthof der Justus-Liebig-Universität Gießen (Betrieb 1) wurden eine Bucht mit dem Ferkelfeeder und eine Bucht mit einem Rohrbreiautomaten (AP-Swing, Agro Products) ausgestattet. Beide Buchten erhielten zudem eine Schalen tränke mit Aqua Level.

Zwei 20er Ferkelgruppen werden stets in den zwei baugleichen Kammern mit den gleichen klimatischen Verhältnissen gehalten. Der Lichttag in beiden Abteilen wird über ein Lichtprogramm gesteuert. Neben der technischen Entwicklung werden in den Untersuchungen das Fress- und Trinkverhalten, die Gewichtsentwicklung, der Futter- und Wasserverbrauch sowie der Gesundheitsstatus ausgewertet.

Die Ferkel werden am Absetztermin sowie eine Woche und 14 Tage nach dem Absetzen einzeln gewogen, um so die täglichen Zunahmen zu bestimmen. Eine abschließende Wägung erfolgt beim Ausstellen.

Das Futter wird eingewogen und zu den Wiegeterminen zurückgewogen, um den Futterverbrauch an dem jeweiligen System feststellen zu können. Der Wasserverbrauch wird über Wasseruhren ermittelt, die täglich abgelesen werden. Der Gesundheitsstatus der Gruppen wird durch Behandlungsdaten und die Anzahl möglicher Abgänge während der Aufzucht bestimmt.

In den Untersuchungen auf einem Praxisbetrieb in Nordhessen (Betrieb 2) mit einer Gruppengröße von 32 Tieren können ebenfalls die Leistungsdaten sowohl am Ferkelfeeder als auch am Breiautomaten erfasst werden. Es wurde ein Abteil mit vier Buchten von identischer Größe eingerichtet, die mit folgender Fütterungstechnik ausgestattet sind

1. Ferkelfeeder als Doppelkurztrog, Tier-Fressplatz-Verhältnis 4:1
2. Ferkelfeeder als Doppellängstrog, Tier-Fressplatz-Verhältnis 1:1
3. ein Rohrbreiautomat, Tier-Fressplatz-Verhältnis 8:1
4. zwei Rohrbreiautomaten, Tier-Fressplatz-Verhältnis 4:1

Alle Buchten enthalten die gleiche Anzahl an Nippeltränken.

Die statistische Beurteilung (Mittelwertvergleiche) erfolgte mit dem Programm-Paket SPSS 11.1.

## 3 Ergebnisse zu Leistung und Gesundheit

Die täglichen Zunahmen der Tiere am Ferkelfeeder waren in den ersten 14 Tagen nach dem Absetzen in den klimatisierten Abteilen mit 281 g um 8 g höher als die Zunahmen am Breiautomaten mit 273 g täglich. Die gleiche Tendenz zeigte die Lebendmasseentwicklung über die gesamte Aufzucht. Die täglichen Zunahmen von 380 g am Breiautomaten waren signifikant niedriger als die 405 g tägliche Zunahme am Ferkelfeeder.

Bei einer Futtermittelverwertung von 1:1,6 verbrauchte die Gruppe am Breiautomaten 611 g Futter pro Tier und Tag. Der Verbrauch der Ferkelfeedergruppe lag bei 614 g je Absetzferkel und Haltungstag, allerdings mit einer Futtermittelverwertung von 1:1,5.

Der Wasserverbrauch während der Aufzucht war mit 2323 l am Breiautomaten und 2380 l am Ferkelfeeder nahezu ausgeglichen. In diese Werte gehen die Tränken mit ein.

Einzeltierbehandlungen der Tiere am Ferkelfeeder waren bisher nicht nötig, am Breiautomaten wurden 17,5 % der Ferkel aufgrund von Durchfallerkrankungen behandelt. Verluste gab es in den vorliegenden Durchgängen keine (Tab. 1).

Tab. 1: Vergleich Ferkelfeeder – Breiautomat anhand unterschiedlicher Leistungsparameter im Betrieb 1 (n = 120)

*Comparison of the Ferkelfeeder to tube feeder using various parameters on Farm 1 (n = 120)*

	Ferkelfeeder	Breiautomat
tägliche Zunahmen (g)	405	380 *
Futterverwertung (1: )	1,5	1,6
Einzeltierbehandlungen (%)	0	17,5
Wasserverbrauch (l)	2380	2323

\* p < 0,05

Die täglichen Zunahmen der Ferkelgruppe am Ferkelfeeder mit Längstrog betragen im Praxisbetrieb 453 g.

Bedingt durch eine noch nicht optimale Fütterungsfrequenz bzw. Häufigkeit der Sensorabfrage in den ersten Erprobungen waren die täglichen Zunahmen am Ferkelfeeder als Doppelkurztrog-Variante mit 427 g niedriger als in der Längstroggruppe. Durch eine besser angepasste Fütterungshäufigkeit lassen sich diese Ergebnisse jedoch noch verbessern. Die Unterschiede zwischen den Gruppen mit einem (435 g) oder zwei Rohrbreiautomaten (426 g) bezüglich der Zunahmen sind gering und nicht statistisch zu sichern.

Tab. 2: Übersicht der Ergebnisse beider Betriebe (n = 242)

*Summary of both farms (n = 242)*

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1 + 2
tägliche Zunahme am Ferkelfeeder – Längstrog (g)	405	453	421
tägliche Zunahme am Ferkelfeeder – Kurztrog (g)	-	427	-
tägliche Zunahme am Breiautomaten (g)	380	431	396
tägliche Zunahme an 1 Breiautomaten (g)	-	435	-
tägliche Zunahme an 2 Breiautomaten (g)	-	426	-
Absetzalter (d)	33	27	30
Absetzgewicht (kg)	9,5	6,7	8,0
Ausstallgewicht (kg)	23,6	28,0	25,8

## 4 Literatur

BOGNER, H.; GRAUVOGEL, G. (Hrsg.) (1984): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

DEN HARTOG, L. (2002): Absetzen ohne Risiko, in: dlz-agrarmagazin 7/2002; S. 92–95.

FELLER, B. (2000): Anfüttern der Absatzferkel – welche Technik für ihren Betrieb, in: SUS 2/2000; S. 30–33.

HOY, S. (2004): Haltung und Fütterungstechnik, in: Gesundheitsmanagement Schweinehaltung, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

LEHMANN, B. (1999): Mit kleinen Portionen gegen Coli-Keime , in: dlz-agrarmagazin 9/1999; S. 104–106.

NIGGEMEYER, H. (1996): Ferkel bis zehnmal täglich füttern, in: SUS 6/1996; S. 24–27.

SAMBRAUS, H. H. (Hrsg.) (1978): Nutztierethologie, Paul Parey Verlag, Berlin Hamburg.

SNELL, H.; VAN DEN WEGHE, H. (2003): Fressverhalten abgesetzter Ferkel, in Tagungsband Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Vechta.

## Eine neue Technik für aktiven Futtererwerb bei der Intensivhaltung von Schweinen

### *A new technique for active feed acquisition of intensively housed pigs*

GERHARD MANTEUFFEL\*, KATRIN ERNST, BIRGER PUPPE\*, PETER C. SCHÖN

Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) FB Verhaltensphysiologie, D-18196 Dummerstorf

**Schlüsselwörter:** Schwein, Aufruffütterung, Beschäftigung, Aktivität  
**Keywords:** Pig, feeding by call, behavioural challenge, activity

### **Zusammenfassung**

Geeignete Fütterungsanlagen für Schweine können Explorations- und Oralbedürfnisse erfüllen. Weiterhin können zu bewältigende Verhaltensanforderungen kritische Faktoren bei der Stärkung von Immunfunktionen sein. Daher wurde durch den Einsatz von neu entwickelten „Ton-Schalter-Futterautomaten“ (TSF) bei Mastläufern (pro Gruppe  $n = 8$ ) erhöhte Aufmerksamkeit und Belohnungserwartung erzeugt. Es wurden 4 TSF pro Haltungsbucht installiert, die einzelne Tiere zu unvorhersehbaren Zeiten aufriefen. In der Eingangsphase hatte jedes Tier der Gruppe gelernt, einen bestimmten Ton als individuelles Signal zu erkennen. Der TSF für den Aufruf eines Tieres wechselte zufällig, sodass die Schweine jedes Mal eine Lokalisationsaufgabe zu lösen hatten. Wenn das richtige Tier den aufrufenden TSFA betreten hatte, musste in der letzten Phase zusätzlich ein Schalter mit der Rüsselscheibe betätigt werden, um die Futterausgabe auszulösen. Die Steuerung der gesamten Anlage erfolgte durch einen Zentralrechner. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe wuchsen die Versuchstiere in gleichem Maße. Daneben zeigte sich ein verbesserter Wundheilungsverlauf.

### **Summary**

Exploration and oral needs of pigs can be fulfilled by suitable set ups. Behavioural demands that animals can cope with may be also factors stimulating immune functions. Employing newly developed “call-feeding-stations” (CFS) we provoked increased attention and expectation of reward in groups of pigs ( $n = 8$ ). Using four CFS in a pen individual animals were called at unpredictable times. Previously, each pig has learned to recognize a certain sound as an individual signal. The calling CFS for each animal changed randomly so that the pig had to solve a localization task. In the last phase, after entry the correct animal had to push a button in order to receive food. The whole set up was controlled by a central computer. Compared to controls the experimental group displayed the same growth rate. In addition, wound healing was improved.

\* Unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Ma 947/11-1 u. /11-2)

## 1 Einleitung

Moderne Haltungssysteme für landwirtschaftliche Nutztiere sind durch Effektivität und hohe Automatisierungsgrade gekennzeichnet. Die notwendigen Tier-Technik Interaktionen müssen dadurch zu bewältigen sein, dass nur Anforderungen gestellt werden, die mit dem art eigenen Verhalten gemeistert werden können. Dies schließt die Kontrollierbarkeit der Haltungsumwelt durch das Tier, ihre Vorhersehbarkeit und die Möglichkeit ein, mit Stressfaktoren erfolgreich umzugehen. Deswegen betonen aktuelle Sichtweisen der Tiergerechtigkeit die wichtige und komplexe Rolle von kognitiven Prozessen (HELD et al. 2001), Belohnung (SPRUIJT et al. 2001) und der emotionalen Wahrnehmung einer der Situation (PUPPE 2003). Erregung und reaktives Verhalten kann vorteilhaft sein, wenn von erfüllbaren, positiven Erwartungen begleitet. Zum Beispiel wurde mehrfach gefunden, dass Bewältigung von Verhaltensanforderungen zu verstärkter Immunkapazität führen kann (TUCHSCHERER et al. 1998). Zusätzlich können solche Anforderungen Langeweile reduzieren und so die Tiergerechtigkeit verbessern.

Wir haben die Verhaltensbereitschaft von Schweinen beim Futtererwerb untersucht. Hierfür haben wir ein komplexes Fütterungssystem (Ton-Schalter-Futterautomat, TSF) entwickelt. Die Tiere hatten dabei akustisch den Ort der Futtergabe zu lokalisieren. TSF erfordert von den Tieren zunächst erfolgreiches Erlernen der spezifischen Eigenschaften des Fütterungsregimes, um sich mit der Aufgabe vertraut zu machen. Anschließend müssen sie während der über den Tag verteilten Fütterungsperioden aufmerksam sein, um die akustischen Signale wahrzunehmen, zu erkennen und zu orten.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Tiere, Haltung und Futter

Pro Versuch wurden 16 Mastläufer aus 8 verschiedenen Würfen (Deutsche Landrasse, Alter 7 Wochen) in zwei Gruppen zu je 8 Tieren aufgeteilt (Versuchsgruppe und Kontrollgruppe). Die Tiere wurden bis zu einem Alter von 20 Wochen untersucht. Beide Gruppen wurden in Buchten von 3,0 x 4,25 m<sup>2</sup> (je 50 % Spalten- und Betonboden) in der Experimentalanlage des FBN aufgestellt. Der Kontrollgruppe wurde konventionell über einen Futterspender (Jyden-Dantec, Süderlügum, vorgesehen für 4 Mastschweine) einmal am Tag die tägliche Futterration gegeben. Die Versuchsgruppe wurde mit 4 TFS über den Tag verteilt gefüttert. Insgesamt erfolgten 6 Durchgänge.

Die tägliche Futtermenge entsprach den Empfehlungen für Schweineproduktion in Deutschland (LINDERMAYER et al. 1994, DLG 1995) und wurde altersgemäß verabreicht. Das Futter bestand aus Standard-Pellets (TREDE & VON PEIN, Itzehoe; metabolischer Brennwert 13,0 MJ/kg, 16 % Rohprotein, 4,7 % Rohfaser, 1,1 % Lysin).

Die TSF boten eine wöchentlich steigende Futterration an (0,66 kg/Tier u. Tag bei 7 Wochen Alter bis 2,62 Kg/Tier u. Tag bei 20 Wochen Alter). Um Wachstumseffekte durch Unterschiede in der Futteraufnahme zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe auszuschließen, wurde der Kontrollgruppe jeweils die Futtermenge angeboten, die die Versuchsgruppe am Vortag konsumiert hatte. Wasser hatten beide Gruppen ad libitum.

## 2.2 Technische Ausrüstung

Ein TSF ist eine Kammer ( L = 63 cm, B = 40 cm, H = 103 cm) mit einer Tiererkennungsantenne (Allflex-Transponder, Texas Trading, Windach) im Eingangsbereich. Am hinteren Ende ist ein Trog mit einer Ausgabeeinheit, ein Betätigungsschalter sowie ein Lautsprecher montiert (Abb. 1). Der Lautsprecher spielt auf Startsignal des Zentralrechners einen der auf dem Slave-Rechner jedes TSF gespeicherten Signaltöne. Der Slave-Rechner steuert ebenfalls die Futterausgabemenge.

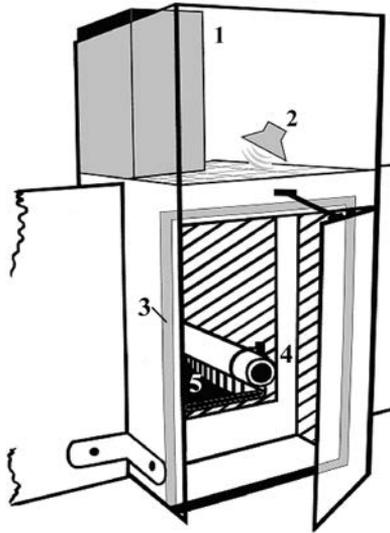


Abb. 1: Der Ton-Schalter-Futterautomat (TSF). 1: Futterbehälter; 2: Lautsprecher; 3: Antenne zur Tiererkennung; 4: Aktionsschalter; 5: Trog  
*The call-feeding-station (CFS). 1: feed dispenser; 2: loudspeaker; 3: animal identification antenna; 4: actuator; 5: trough*

Der Zentralrechner kontrolliert die Datenübertragung zu und von jedem TSF mittels der entsprechenden Subroutinen für die jeweiligen Versuchsphasen (Abb. 2). Weiter ordnet er die Tiere zufällig den 4 TSF zu, legt die Zeiten für die Fütterungsaufrufe fest und registrierte das besuchende Tier und seine Aktionen. Hierfür werden zunächst die Anzahl von Fütterungszyklen (FZ) für jede Tagesstunde festgelegt. Ein FZ beinhaltet den einmaligen Aufruf jedes der 8 Schweine. Es können bis zu 4 FZ/Stunde erzeugt werden, wobei jedes Tier zu einem beliebigen TSF gerufen wird. Die zufällige Abfolge gewährleistet, dass die Tiere keine Präferenz für einen bestimmten TSF entwickeln. Jedem Tier steht eine bestimmte Fütterungszeitspanne zu, in der es den TSF aufsuchen muss. Ist diese für alle Tiere abgelaufen, wird der nächste FZ gestartet. Betritt ein nicht aufgerufenes Tier den TSF, erfolgt keine Futterausgabe.

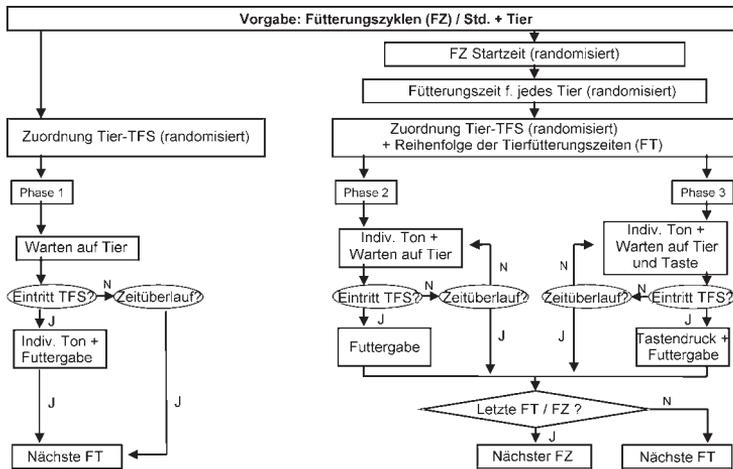


Abb. 2: Logisches Steuerungsschema für 4 TFS und zufälligen Tieraufwurf während der Aktivitätszeiten  
 Logical flow diagram for control of 4 CFS and randomised animal calls during the activity phases

### 2.3 Prozedur

Das Programm der Versuchsgruppe bestand aus drei Phasen. In Phase 1 lernten die Tiere ihren individuellen Ton mit Futter zu assoziieren. Immer wenn sie den TSF betraten, wurde Futter ausgegeben und der ihnen zugeordnete Ton abgespielt. In Phase 2 wurde der individuelle Ton an einem beliebigen TSF generiert. Futterausgabe erfolgte, wenn sich das richtige Tier in den TSF begab. In Phase 3 musste das Tier zusätzlich den im TSF eingebauten Schalter mit der Rüsselscheibe betätigen. Die Anzahl der erforderlichen Schalteraktionen konnte im Lauf dieser Phase gesteigert werden.

### 2.4 Verhaltensparameter

Das Lernverhalten wurde nach Phase 1 (Konditionierung) in Phase 2 und 3 als erfolgreich gewertet, wenn das richtige Tier bei Aufruf den TSF aufsuchte. Weiterhin wurde das generelle Verhalten (Liegen, Laufen, Zeit am Trog) in beiden Gruppen per Videoaufzeichnung registriert und ausgewertet.

### 2.5 Physiologische Parameter

Einmal wöchentlich wurde Blut durch Punktion der Vena cava anterior entnommen und auf Immunparameter nach TUCHSCHERER et al. (1998) untersucht. Am Ende von Phase 3 erfolgte eine Schussbiopsie. Der Wundheilungsverlauf wurde auf der Basis von Digitalfotos (Coronadurchmesser) täglich 10 Tage lang dokumentiert. Die Körpermasse wurde wöchentlich bestimmt. Fleischqualitätsparameter (Muskelfaserverhältnis, Dripverlust) wurden post mortem ermittelt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Verhalten

Nach der einwöchigen Konditionierungsphase erkannten alle Tiere ihren individuellen Fütterungston und lernten, dass dieser an jedem beliebigen TSF ertönen konnte. Entsprechend zeigten sie schon zu Beginn von Phase 2 einen Erfolg von 48 % (Zufallswahrscheinlichkeit =  $1/4 = 25\%$ ), der innerhalb weniger Tage auf 80 % stieg (Abb. 3).

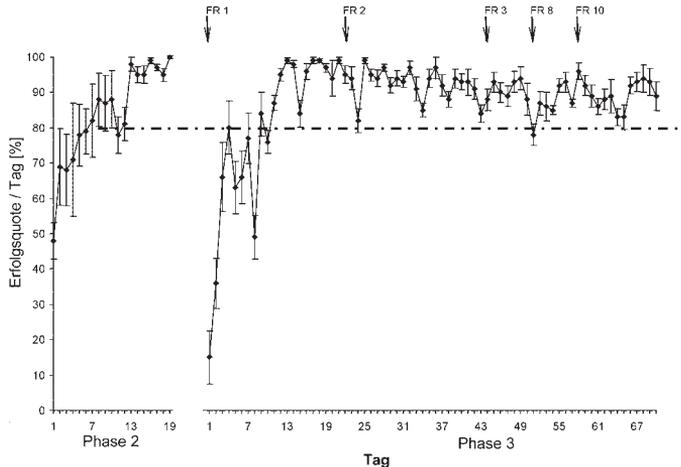


Abb. 3: Erfolgskurven beim Aufsuchen der TFS einer beispielhaften Gruppe. FR: „Fixed Ratio“ = Anzahl erforderlicher Tastenbetätigungen vor Futterausgabe. (80 % = Bedarfdeckung)  
*Success curves at the CFS of a typical group of pigs. FR: „Fixed Ratio“ = number of button presses necessary for feed delivery. (80 % = calculated food allowance)*

In Phase 3, als zusätzlich ein Knopf gedrückt werden musste, brauchten die Tiere bis zu 7 Tage, um wieder ein ähnlich hohes Erfolgsniveau zu erreichen. Das Steigern der erforderliche Anzahl der Knopfbetätigungen verringerte den Erfolg nicht.

Das Liege- und Aktivitätsverhalten von Kontroll- und Versuchsgruppen war signifikant verschieden. Die Versuchsgruppe lag weniger und lief mehr, während die Zeiten am Trog bzw. TSF sich nur während der Trainingsphase (1) unterschieden: die Versuchsgruppen waren häufiger am TSF als die Kontrollgruppen am Trog. Im Open-Field Test waren die Versuchsgruppen tendenziell explorativer und weniger aufgeregt.

#### 3.2 Wachstum und physiologische Parameter

Das Wachstum bezogen auf die Lebendmassezunahme von Kontroll- und Versuchsgruppen war identisch. Da beide Gruppen die selbe Futtermenge erhielten, zeigte dies, dass die mit dem TSF verbundenen Anforderungen per se keinen negativen Einfluss auf diesen Leistungsparameter hatten.

Die Immunparameter wiesen nur geringfügige Unterschiede im Vergleich zur Kontrollgruppe auf. Jedoch war der Wundheilungsprozess nach der Schussbiopsie am Ende von Phase 3 bei der Versuchsgruppe beschleunigt. Ab dem 6. Tag nach Biopsie war die Wundkorona bei der Versuchsgruppe deutlich kleiner.

Das Fleisch der Versuchstiere wies einen um 1 % verringerten Dripverlust auf. Im Trend war der Anteil oxidativer Muskelfasern um 2 Prozentpunkt erhöht.

## 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die TFS erforderten zum Anfang der Experimentalperiode ein Trainieren der Tiere. Dies erfolgte mittels einer Kombination von klassischer und operanter Konditionierung. In der ersten Versuchsphase ertönte der individuelle Signalton mit der Futterausgabe, wobei sich eine klassisch konditionierte Assoziation zwischen Ton und Futter ausbildete. Operante Konditionierung erfolgte in Phase 2, wenn die Tiere lernten, den rufenden TFS aufzusuchen, fremde Signaltöne zu ignorieren und, in der letzten Phase, den Futterausgabeschalter ein- oder mehrmals mit der Rüsselscheibe zu betätigen. Diese Aufgaben, die auch das Unterscheiden von verschiedenen Klängen beinhaltete, wurde von den Tieren sehr gut gemeistert. Die Tiere mussten sich aktiv den Anforderungen anpassen, innerhalb eines Fütterungszeitzyklus von 12 h wiederholt zu unvorhersehbaren Zeitpunkten zum Füttern aufgerufen zu werden und dann nur kleine Portionen zu erhalten. Sie hatten ihr individuelles Signal zu lernen und, ab Phase 2, aufmerksam genug sein, um es zu erkennen und zu lokalisieren.

Die Resultate zeigen, dass Schweine kein Problem damit haben, sich adäquat konstruierten technischen Anlagen anzupassen, solange diese ihre natürliche Verhaltensbereitschaft berücksichtigen. Dies kann zugleich der Bereicherung der Umwelt dienen, Langeweile und Unterforderung reduzieren und u. U. auch die Gesundheit fördern. Insbesondere könnte ein ähnliches Fütterungsverfahren für verbesserte Haltungsbedingungen von trächtigen Sauen anwendbar sein.

## 5 Literatur

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT (DLG) (1995): Leistungs- und qualitätsgerechte Schweinefütterung. DLG Information 1/1995.

HELD, S.; MENDEL, M.; LAUGHLIN, K.; BYRNE, R. W. (2001): Cognition studies with pigs: Livestock condition and its implication for production. *J. Anim. Sci.* 80 (Suppl. 1), E10 – E17.

LINDERMAYER, H.; PROPSTMEIER, G.; STRAUB, K. (1994): Fütterungsberater Schwein. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, Wien, Zürich.

PUPPE, B. (2003): Stressbewältigung und Wohlbefinden—verhaltensphysiologische Ansatzpunkte einer Gesundheitssicherung bei Tieren. *Arch. Tierz.* 46 (Sonderh.), 52–56.

SPRUIJT, B. M.; VAN DEN BOS, R.; PIJLMAN, F. T. A. (2001): A concept of welfare based on reward evaluating mechanisms in the brain: anticipatory behaviour as an indicator for the state of reward systems. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72, 145–171.

TUCHSCHERER, M.; PUPPE, B.; TUCHSCHERER, A.; KANITZ, E. (1998): Effects of social status after mixing on immune, metabolic, and endocrine responses in pigs. *Physiol. Behav.* 64, 353–360.

## Eiweißreduzierte sensorgesteuerte Mastschweinefütterung *Protein reduced sensor controlled feeding of fattening pigs*

CORNELIA SUHR, MAIKE NAATJES, MICHAEL DOLUD, HELGA ANDREE, THOMAS HÜGLE

Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Universität Kiel, D-24098 Kiel

**Schlüsselwörter:** Mastschweine, Fütterung, Güllesensor, NIR

**Keywords:** *Fattening pigs, feeding, manure sensor, NIR*

### **Zusammenfassung**

Das Gesamtziel des Vorhabens „Eiweißreduzierte sensorgesteuerte Mastschweinefütterung“ besteht darin, eine auf Sensoren gestützte Steuerungs-/Regelungstechnik zur optimalen Fütterung von Mastschweinen zu entwickeln. In einem Mastversuch (624 Tiere) wurde mit abgestufter Lysinversorgung eine unterschiedliche Proteinverwertung induziert. Spezifische Sensoren erfassten Futteraufnahme, Wachstum, Klima und Gülledaten. Neuartig in dieser Betrachtung ist der Güllesensor mit Nahinfrarotspektroskopie. Die Höhe der Lysinversorgung aber auch das Geschlecht hatte einen Einfluss auf die Leistung. Mit steigender Lysinversorgung wurde weniger Futter aufgenommen, das Futter besser umgesetzt eine kürzere Mastzeit bei tendenziell höherem Muskelfleischanteil erzielt. Unterschiede in die gleiche Richtung zeigten sich auch zwischen männlichen und weiblichen Tieren. Der Zusammenhang von Lysinaufnahme und Mastleistung lässt sich in den Gülle-N- und  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalten darstellen.

### **Summary**

Main aim of the project “Protein reduced sensor controlled feeding of fattening pigs” is to develop a feeding control technique based sensors, for optimal feeding of fattening pigs. In a fattening trail (624 animals) protein utilization has been modified by varying the lysine supplementation. Specific sensors recorded feed intake, growth, climate and manure data. A new approach in this context is the application of a manure sensor based on near infrared spectroscopy. Higher levels of lysine supplementation but also the gender of the animals led to a lower feed intake, a better feed conversion and thus to a shorter fattening period with the tendency to higher percentage of lean meat in the carcass. Differences in the same direction could be monitored from male to female animals. The relationship of lysine intake and fattening traits can be depicted by the manure nitrogen and ammonium contents.

## 1 Einleitung

Das Ziel der Schweinemast ist die Erzeugung eines Schlachtkörpers mit hohem Fleischanteil, in einer definierten Qualität, in möglichst kurzer Zeit. Die Effizienz der Mastschweineproduktion wird dabei wesentlich durch die Verwertung und den Ansatz der zugeführten Nährstoffe bestimmt, dies besonders im Hinblick auf das Protein. Eine Steuerungs-/Regelungstechnik für die Fütterung sollte demzufolge so ausgelegt sein, dass jederzeit eine optimale Proteinverwertung durch das Tier gewährleistet ist. Dies setzt jedoch voraus, das richtige Niveau der optimalen Protein- und Energieversorgung genau abschätzen zu können. Zu Beginn der Mast ist dies nur grob möglich und es können sich Veränderungen während der Mast ergeben. Dabei besteht in der Findung des richtigen Versorgungsniveaus ein Zielkonflikt. Werden die Tiere über das verwertbare Maß hinaus mit Protein versorgt, ergeben sich umweltrelevante Belastungen in Form erhöhter N- und  $\text{NH}_3$ -Austräge. Werden die Tiere dagegen zu knapp gefüttert, besteht das Risiko wertvolles Ansatzpotential zu verschenken.

Als Herausforderung stellt sich somit die Aufgabe, Parameter und messbare Signale des aktuellen Zustandes zu identifizieren sowie diese über Sensorsysteme kontinuierlich zu erfassen, Entwicklungen zu antizipieren, um somit frühzeitig steuernd so einzugreifen, dass Fehlentwicklungen gar nicht erst auftreten.

Der nachfolgend beschriebene Mastversuch dient dazu, auf der Basis bewährter Sensoren, aber auch unter Einbeziehung eines neuen Güllesensors, diese Zusammenhänge zu erfassen und Hinweise zu liefern, wie zukünftig eine Steuerung in der Mastschweinehaltung aussehen könnte.

## 2 Hypothesen

Von den steuerbaren Faktoren, die den Proteinansatz und damit das Wachstum/die Körperzusammensetzung beeinflussen, kommt der Fütterung die größte Bedeutung zu (DLG, 1991). Neben der Höhe der Proteinversorgung ist der Anteil limitierender Aminosäuren ein begrenzender Faktor – mit Lysin an erster Stelle. Zur Quantifizierung von Input-Verwertung-Output eignet sich Lysin als steuerbarer Faktor, um im Versuch die Proteinverwertung und den Proteinansatz zu variieren. Es wurden unterschiedliche Lysingehalte in den Rationen eingesetzt und dies im Bezug zur Mastleistung und der Güllezusammensetzung untersucht. Während der Einfluss von Lysin auf Nährstoffverwertung und Wachstum bereits gut erforscht ist, besteht die Neuartigkeit in dem hier gewählten Ansatz, die Gülle in die Systembetrachtung mit einzubeziehen.

Folgende Hypothese gilt es dabei zu überprüfen. Überschüssiges, d. h. vom Tier nicht verwertetes Protein wird vom Tier als Harnstoff ausgeschieden. In der Gülle wird Harnstoff sehr schnell zu  $\text{NH}_3$  umgesetzt. Durch Beobachtung des  $\text{NH}_3$ -N- zum Gesamt-N-Gehalt in der Gülle soll auf einen potentiellen Indikator für die Proteinverwertung geschlossen werden.

## 3 Eingesetzte Technik/Sensoren

Die Tiere wurden über eine sensorgesteuerte Flüssigfütterung (Bio-Feeder, Fa. HÖLSCHER & LEUSCHNER) versorgt. Dieses System füttert die Mastschweine nach ihrem Fressverhalten.

Während des Fressvorgangs wird über Trogsensoren die Entleerungsgeschwindigkeit im Trog erfasst. Das Programm ermittelt und bewertet dann das Fressverhalten und berechnet/dosiert auf dieser Basis die nachfolgende Mahlzeit. Die Aminosäuren, in diesem Versuch das Lysin, wurden durch einen Feindosierer zu einer auf Getreide und Sojaextraktionsschrot aufgebauten Basisration supplementiert. Der Wachstumsverlauf wurde durch die Erfassung der Lebendmasse (Einzeltierwaage) beobachtet. Ein Klimasensor zeichnete stündlich die wesentlichen Stallklimadaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) im Stall auf. Der am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik/Uni Kiel entwickelte Gülle-NIR-Sensor wurde zur Erfassung  $\text{NH}_3\text{-N}$  und Gesamt-N in der Gülle erstmalig eingesetzt.

### 3.1 Güllesensor

Die dem Güllesensor zugrunde liegende Technologie ist die Nahinfrarotspektroskopie (NIR). Als chemometrische Methode kann NIR ohne aufwändige Probenvorbehandlung eine schnelle und zeitnahe Analyse der Gülle durchführen. Der Güllesensor ist als Durchflusssystem ausgeführt und besteht aus Dioden-Array-Spektrometer (Zeiss CORONA 45 NIR), Durchflussmesszelle und Pumpe. Die Messzelle ist so ausgebildet, dass die Probe zwischen zwei gegenüberliegenden Fenstern (3 mm Abstand) die Messzelle homogen durchfließt. Hierbei muss gewährleistet sein, dass keine Sedimentation, Schaumbildung und Verstopfung entstehen.

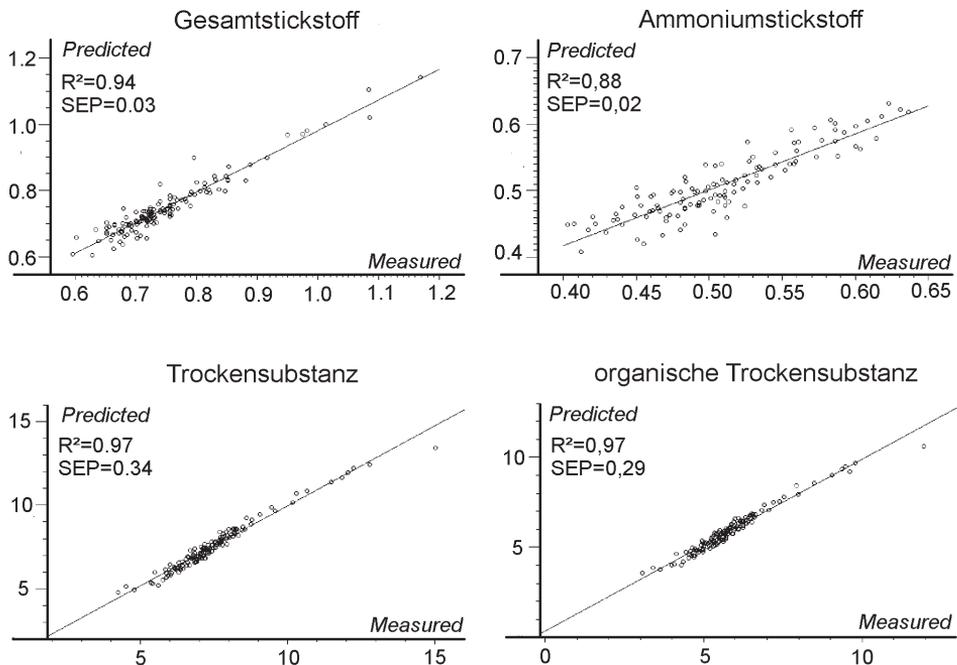


Abb. 1: Lineare Regression des, Gesamtstickstoffs, Ammoniumstickstoffs und der Trockensubstanz (n = 120), organischen Substanz

Da Gülle ein fest/flüssiges Gemisch darstellt (Suspension), sind bei der spektroskopischen Messung einige Besonderheiten zu beachten. Flüssigkeiten werden in aller Regel über Transmissionsmessungen erfasst, Feststoffe werden in der Reflexion untersucht. Bei Suspensionen kann die Kombination von beidem als so genannte Transflexionsmessung realisiert werden. Hinter der Probe wird an einer keramischen Scheibe die eingestrahlte Energie zu 100 % reflektiert, passiert die Probe auf dem Rückweg ein zweites mal und wird wie die diffuse Reflexion an den festen Partikel aufgezeichnet. Um Messungen durchführen zu können, ist es jedoch erforderlich das System vorab an Referenzproben zu kalibrieren.

Im Rahmen dieses Versuchs wurde mit ca. 100 im Labor untersuchten Gülleproben die Kalibration des NIR-Sensors vorgenommen und anschließend mittels Kreuzvalidierung überprüft (Abb. 1). Die Genauigkeit der Schätzung für Gesamt-N,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TS und oTS ausgedrückt als R2 liegt bei 0,94, 0,88, 0,97 und 0,97. Der SEP (standard error of prediction) ist in allen Fällen  $< 2\%$ , so dass mit diesem Sensor eine ähnlich hohe Genauigkeit wie in den Labor-messungen erzielt werden kann.

## 4 Mastversuch

Im Januar 2004 wurden 624 Mastschweine in einem praxisüblichen Stall der Firma Hölscher & Leuschner aufgestellt. Es wurden homogene Kleingruppen zusammengestellt, die getrennt geschlechtlich und randomisiert auf den Stall verteilt wurden. Die Versuchstechnisch kleinste Einheit bildet die über einen Quertrog verbundene Doppelbucht (Vollspalten) mit 26 Tieren. Die Mast wurde im Bereich 35–110 kg LM in fünf Abschnitte á 3 Wochen unterteilt. Die Basisration wurde im Laufe der Mastabschnitte (MA1 bis MA5) im Rohproteingehalt abgesenkt, jedoch innerhalb des Mastabschnittes konstant gehalten. Lysin wurde mit dem Feindosierer in vier Niveaus, in Abhängigkeit vom Mastabschnitt, unmittelbar zur jeweiligen Mahlzeit zu der Basisration zudosiert (Versuchsgruppen: VG1 = niedrigste Lysinulage bis VG4 = höchste Lysinulage). Je Versuchsgruppe und Geschlecht wurden 3 Wiederholungen eingesetzt.

Jede Bucht war zur Hälfte mit einem Gülleauffangtrichter ausgestattet. Die erste Woche diente als Anpassungsphase an die Futterumstellung im neuen Mastabschnitt. In den beiden Folgewochen wurde die Gülle gesammelt und mit dem Güllesensor analysiert. Beim Aufstallen und am Ende jedes Mastabschnittes wurden die Tiere gewogen.

## 5 Ergebnisse

Mittlerweile ist der erste Mastdurchgang abgeschlossen. Auswertungen zeigen, dass sowohl Versuchsgruppen- als auch Geschlechtseffekte auftreten. Wie Tabelle 1 zeigt, gab es zwischen den Geschlechtern und zwischen den Versuchsgruppen sowohl Unterschiede in der Höhe der Futteraufnahme, wie auch in der Futtermittelverwertung und den täglichen Zunahmen. Die Futteraufnahme der Börgen war um 344 g höher als die der Sauen. Bei einer Betrachtung ohne Berücksichtigung des Geschlechts, nahmen die Tiere mit der geringsten Versorgungsstufe (VG1) im Mittel 29 g mehr Futter auf, als die der besten Versorgungsstufe (VG2).

Unterschiede in der Futtermittelverwertung konnten zwischen den Lysinversorgungsgruppen als Mittel über die gesamte Mastzeit beobachtet werden. Die männlichen Tiere der VG1 lagen

bei 1:2,84 kg versus 1:2,68 kg von VG4 und bei den weiblichen Tieren bei 1:2,75 kg versus 1:2,48 kg.

Die täglichen Zunahmen stiegen tendenziell mit zunehmendem Lysinversorgungslevel an. Die männlichen Tiere hatten im Mittel über die gesamte Mastzeit mit 871 g höhere tägliche Zunahmen als die weiblichen Tiere mit 810 g. Die VG4 war mit 51 g der VG1 überlegen.

Tab. 1: Tägliche Zunahmen in g, Futtermittelaufnahme in kg, Futtermittelverwertung in kg (MA = Mastabschnitt; VG = Versuchsgruppe; Ge = Geschlecht)

Ge	VG	MA 1			MA 2			MA 3			MA 4		
		FUA	FV	TZ									
m	1	1.84	2.14	862	2.36	2.59	916	2.66	2.89	922	2.58	3.72	697
	2	1.83	2.39	775	2.42	2.47	979	2.73	2.80	976	2.56	3.55	753
	3	1.82	2.21	827	2.40	2.52	957	2.71	2.87	949	2.66	3.76	715
	4	1.71	2.03	844	2.33	2.36	991	2.67	2.71	987	2.58	3.61	720
w	1	1.51	2.19	692	2.15	2.58	837	2.47	2.76	896	2.30	3.50	655
	2	1.57	2.17	721	2.03	2.17	939	2.30	2.87	806	2.01	3.20	629
	3	1.64	2.00	820	2.17	2.20	994	2.45	2.82	869	2.30	3.36	687
	4	1.61	2.01	804	1.98	2.19	906	2.37	2.74	863	2.29	2.97	778

Die Unterschiede in der Futtermittelaufnahme und der Futtermittelverwertung zwischen Versuchsgruppen und Geschlechtern schlugen sich auch in Mastdauer und Mastleistung nieder. VG1 wurde mit 128 Masttagen fünf Tage länger gemästet als VG4. Generell war in allen vier Versuchsgruppen die Anzahl der Masttage bei den Sauen höher als bei den Börgen. Der Muskelfleischanteil von VG4 betrug 55,8 % und lag mit 0,5 % über dem der VG1.

Die Unterschiede in der Futtermittelaufnahme und den Mastleistungen lassen sich überwiegend auf die tatsächliche Lysinaufnahme zurückführen. Insgesamt ist zu beobachten, dass mit steigender Lysinaufnahme, bei verbesserter Futtermittelverwertung, die durchschnittlichen täglichen Zunahmen ansteigen. Dies jedoch auf unterschiedlichem Niveau für die männlichen und weiblichen Tiere.

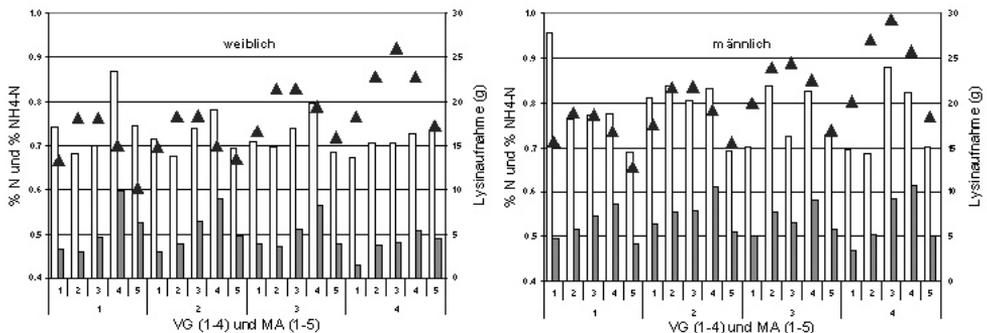


Abb. 2 Lysinaufnahme und N/NH<sub>3</sub>-Gehalte in der Gülle. ▲ = Lysinaufnahme in g; □ = % NH<sub>4</sub>-N in der Gülle; ▤ = % N in der Gülle

Stallklimaaufzeichnungen zeigen, dass das Fressverhalten eng mit dem Stallklima korreliert ist. Die Korrelation von Futtermittelaufnahme und mittlerer Temperatur beträgt 0,258. Vor allem kurzzeitige kühlere Phasen führen zu einem kurzzeitigen Rückgang in der Futtermittelaufnahme, erholt sich aber recht schnell nach einer Anpassungsphase. Gegen Mastende stiegen saisonal bedingt die Temperaturen insgesamt an und führten ab einem bestimmten Niveau zu einem nachhaltigen Rückgang in der Futtermittelaufnahme.

Der N- und  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalt der Gülle sind in Abbildung 2 zusammen mit der Lysinenaufnahme dargestellt. Das Muster der  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalte bei allen Versuchsgruppen folgt mit etwas Verzug dem Muster der Lysinenaufnahme. Der Verlauf der N-Gehalte verlief nicht so geradlinig wie der der  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalte. Hier waren große Schwankungen festzustellen. Hier muss über weitere Untersuchungen der Zusammenhang geklärt werden.

## 6 Diskussion

In dem ersten Mastdurchgang konnten bereits bekannte Differenzen in der Mastleistung zwischen den Geschlechtern bestätigt werden. Futtermittelaufnahme und tägliche Zunahmen waren bei den Börgen höher und die Futtermittelverwertung erwartungsgemäß schlechter als bei den Sauen. Mit der Variation der Lysinenaufnahme lassen sich veränderte Proteinverwertungsraten induzieren, so dass an solch einem Modell Untersuchungen einer komplexen Fütterungssteuerung anstellen lassen.

Ein wesentliches Ziel dieser Untersuchung war es, die NIR-Spektroskopie zur qualitativen Analyse der Schweinegülle einzusetzen. Die entwickelte NIR-Methode kann zur Analyse von Schweinegülle angewendet werden. Im Vergleich zur Laboranalyse können Daten schnell, in hoher zeitlicher Auflösung und nahezu unbegrenzt aufgezeichnet werden. Die Kalibration des NIR-Sensors wird stetig durch Referenzanalysen in Labor evaluiert und verbessert. Die gesamte Messvorrichtung hat sich als zuverlässig und robust gezeigt. Dies ermöglicht zukünftig, die stetige Erfassung der Gülle als zusätzlichen Parameter in ein komplexes Steuerungsmodell aufzunehmen.

## Untersuchungen über die Eignung des Videobildsystems optiSORT (Firma Hölscher + Leuschner) zur Bestimmung des Gewichts und der Beurteilung der AutoFOM-Schlachtkörperqualität von Schweinen in der Endmast

### *Test of applicability of the videosystem optiSORT (developed by Hölscher + Leuschner) to determine the weight and the carcass quality (in terms of AutoFOM) of fattened pigs*

HORST CIELEJEWSKI<sup>1</sup>, ERNST THOLEN<sup>2</sup>, KLAUS GEERDES<sup>2</sup>, PETER LEUSCHNER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, D-48143 Münster

<sup>2</sup> Institut für Tierzuchtwissenschaften der Universität Bonn, D-53115 Bonn

<sup>3</sup> Fa. Hölscher + Leuschner, D-48488 Emsbüren

**Schlüsselwörter:** Videobildanalyse, Schätzung für Gewicht und AutoFOM Kriterien

**Keywords:** *Analysis of videopictures, estimation of weight and criteria for AutoFOM*

### **Zusammenfassung**

*In einem praxisüblichen Abteil mit ca. 300 Mastschweinen wird das optiSORT-System der Firma HÖLSCHER + LEUSCHNER eingesetzt. Mit diesem System werden die Tiere zum Verkauf aus der Großgruppe herausselektiert. Durch die Videobildanalyse gelingt es mit zufriedenstellender Genauigkeit, das Lebendgewicht der Tiere abzuschätzen. Die für die Vermarktung nach AutoFOM wichtigen Teilstückgewichte und Teilstückanteile für Bauch und Schulter werden mit Variationskoeffizienten (VK oder CV) zwischen 3,2 % und 5,5 %, für Schinken und Lachs mit 6,1 % bis 7,4 % vorausgeschätzt. Das optiSORT-System ist demnach geeignet, den Landwirt bei der Optimierung der Verkaufsstrategie zu unterstützen.*

### **Summary**

*The optiSORT-system, developed by HÖLSCHER + LEUSCHNER, is in use in a compartment with 300 fattening pigs. The system selects the pigs for sale. By the analysis of videopictures, the software is able to estimate the weight of the fattened pigs with satisfying precision. Important criteria for the valuation in terms of AutoFOM are the weight and the quota of ham, shoulder and belly. The coefficients of variation (CV) are between 3,2 % and 5,5 % for belly and shoulder, and between 6,1 % and 7,4 % for ham. The optiSORT-system is suitable to support the pig fattener to optimise his marketing strategy.*

## 1 Einleitung und Problemstellung

In neuen Verfahren der Mastschweinehaltung wird die Großgruppenhaltung mit Sensorfütterung angestrebt. Die Gruppengröße liegt häufig bei 40 bis 60 Tieren, kann aber auch bis zu 300 Tieren betragen. Die Haltung in Großgruppen bietet den Schweinen viele Vorteile, da sie die großen Stallflächen selbstständig einteilen und strukturieren können. So werden klare Einteilungen für Kotflächen einerseits und Liegeflächen andererseits vorgenommen. Nur die Futterplätze sind durch die Standorte der Futtertröge vorgegeben. Zudem entstehen große freie Räume, die die Tiere als Aktivitätszone und Spielraum nutzen, was durch Scheuerbäume, Spielketten und andere Geräte sowie Raufen unterstützt werden kann. Die gute Aufteilung der Buchtenfläche in die einzelnen Zonen kann dazu führen, dass die Buchten weniger verschmutzt sind, abgegrenzte Kotflächen entstehen und auch die Tiere sauber sind. Mit diesen Bedingungen ist es möglich, die Umweltbelastungen durch Ammoniak und Geruch zu reduzieren. Vergleichende Versuche mit unterschiedlichen Haltungsverfahren zeigen diese Tendenz auf.



Abb. 1: Aufbau und Funktionsweise der optiSORT-Anlage

Ein Problem der Großgruppenhaltung entsteht in der Verkaufsphase der Mastschweine. Bislang wurden die Tiere mit dem „Auge des Mästers“ subjektiv eingeschätzt, für den Verkauf farblich gekennzeichnet und für den Abtransport aus der Bucht herausgetrieben. In der Großgruppenhaltung mit mehr als 200 Tieren ist diese Arbeit doppelt erschwert, ist es doch schwierig, aus dieser großen Anzahl von Tieren alle verkaufsfertigen Tiere aufzufinden, zu kennzeichnen und aus dieser Großbucht auszutreiben. Zudem werden die Schweine

im Schlachthof zunehmend nach der AutoFOM-Methode klassifiziert, wobei neben dem Schlachtgewicht auch die Gewichte einiger Teilstücke, z. B. Schinken, Lachs, Bauch und Schulter in eine Indexbewertung eingehen und den Preis für das geschlachtete Tier bestimmen. Insbesondere diese Teilebewertung ist am lebenden Tier mit dem „Auge des Mästers“ mit subjektiven Bewertungskriterien allein nicht mehr zu leisten.

## 2 Material und Methoden

Lösungsmöglichkeiten kann die elektronisch unterstützte Tierhaltung bieten. Die Fressplätze für eine Großgruppe werden in einem abgesperrten Teil der Bucht eingerichtet. Dieses „Fressabteil“ kann nur durch eine Schleuse von den Schweinen betreten werden. In dieser Schleuse wird das einzelne Tier mit einer Videokamera aufgenommen und ein Videobild in einem angeschlossenen Computersystem in Echtzeit (System optiSort der Fa. Hölscher + Leuschner) analysiert. Im wesentlichen werden Höhe, Länge und Breite des Tieres mit Hilfe dieser Videobild-Analyse ermittelt. Aus diesen Daten werden die Flächen bestimmter Körperabschnitte errechnet, die Gewichte dieser Körperabschnitte geschätzt und das Gesamt-tiergewicht ermittelt.

Durch die optische Vermessung und Beurteilung der Tiere ist es auch möglich, den Verkaufszeitpunkt der schlachtreifen Tiere zu optimieren. Der Zeitpunkt des optimalen Verkaufsgewichts mit einem guten Verhältnis von Muskelfleisch und Fett in den wichtigen Körperteilen wie Schinken, Bauch und Rücken kann mit messbaren, objektiven Parametern der Videobildanalyse in Anlehnung an die Auto-FOM Klassifizierung der Schlachthöfe tierindividuell eingegrenzt werden, und alle betroffenen Tiere werden automatisch in eine Verkaufsbucht selektiert und stehen so ohne weitere Handarbeit für den Transport zum Schlachthof bereit.

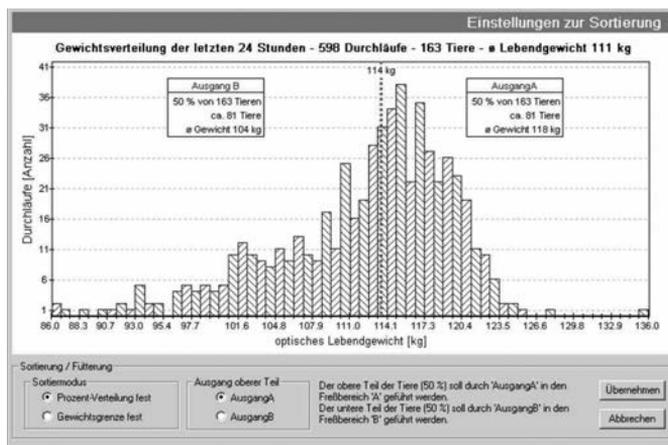


Abb. 2: Bildschirmmaske zur Gewichtsverteilung in einer Mastgruppe

Deshalb haben die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, das Institut für Tierzuchtwissenschaften der Universität Bonn und die Firma HÖLSCHER + LEUSCHNER auf einem praktischen landwirtschaftlichen Betrieb ein Pilotvorhaben gestartet, um diese Möglichkeiten der Video-

bildanalyse mit Praxisdaten zu verifizieren. Auf einem praktischen landwirtschaftlichen Betrieb werden in mehreren Abteilen Mastschweine gehalten. Die Ferkel einer Dreirassenkreuzung (mütterlich: Niederländische Landrasse x Yorkshire; väterlich: Piétrain (PIC Linie 126)) werden mit ca. 28 kg aufgestellt. Die Buchten sind als Vollspaltenbodenbuchten ausgeführt und mit einer Lüftungsanlage nach dem Unterdruckprinzip ausgestattet. Das Futter wird mit einer Sensorfütterung in 5 Futterzeiten vorgelegt. In einem Abteil mit einer Großgruppe (ca. 300 Tiere) wurde eine praxisübliche optiSORT-Anlage zusätzlich mit einer elektronischen Waage und einem Tiererkennungssystem ausgerüstet. Die aufgestellten Mastferkel wurden mit Tiererkennungs-Ohrmarken versehen, so dass es möglich wurde, während der Mastperiode im Stall Wiegedaten und optiSORT-Daten tierindividuell durch die erweiterte Software zusammenzuführen und auf dem Schlachthof Auto-FOM-Daten ebenfalls tierindividuell zuzuordnen. In der Verkaufsphase ist am Computer ein Selektionsgewicht eingestellt worden, das einerseits erwarten ließ, gute Ergebnisse für die aktuelle AutoFOM-Maske zu erzielen, andererseits aber auch eine passende Tierzahl für den Transport zusammen zu bekommen. Mit diesem Datenmaterial wird mit statischen Methoden eine Bewertung des Verfahrens vorgenommen.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Für die statistische Auswertung werden die Daten des optiSORT-Verfahrens, die bei der letzten Messung zur Selektion der Verkaufstiere gewonnen wurden, mit den Daten der selben Tiere vom Schlachthofe verknüpft, die nach der AutoFOM-Methode gewonnen wurden. Von den insgesamt 298 aufgestellten Tieren konnten so insgesamt 224 Tiere in die Auswertung einfließen. Für 74 Tiere liegen keine verwertbaren Daten vor,

- weil sie vorzeitig ausgefallen sind (5 Tiere),
- weil die Verknüpfung von Tiererkennung und Messdaten an der optiSORT-Station nicht funktioniert hat,
- weil die Verknüpfung von Tiererkennung und Schlachtdaten auf dem Schlachthof nicht funktioniert hat.

Die mit den beiden Verfahren gewonnenen Daten wurden einer statistischen Analyse unterzogen. Zur Begutachtung der Schätzgenauigkeit wurden die statistischen Parameter Korrelation, Bestimmtheitsmaß  $B$ , Schätzfehler.

„RMSE“ (Root Mean Square Error) und relativer Schätzfehler „CV“ (Variationskoeffizient) verwendet. Der relative Schätzfehler erlaubt den Vergleich von Zielgrößen verschiedener Dimensionen. Man kann von einer zufriedenstellenden Schätzgenauigkeit ausgehen, wenn der relative Schätzfehler sich unterhalb einer Grenze von 5 % befindet. Es zeigt sich, dass die Höhe der Schweine von großer Bedeutung ist. Sie weist hohe Korrelationswerte auf für das Schlachtgewicht und das Gewicht der einzelnen Teilstücke. Es zeigt sich darüber hinaus, dass die Breite (y-Werte), gemessen im Bereich von Schinken, Bauch und Schulter größere Korrelationskoeffizienten zum Schlachtgewicht und zu den Gewichten der Teilstücke aufweist, als die Längenausprägung (x-Werte) des Tierkörpers. Die errechneten Flächen (a-Werte) für Schinken, Bauch und Schulter sowie die Gesamtfläche weisen häufig ähnlich hohe Korrelationskoeffizienten auf wie die gemessene Breite.

Bessere Schätzgenauigkeiten sind für die Anteile an wertvollen Teilstücken zu erzielen. Für Bauch- und Schulteranteil liegt der relative Schätzfehler bei 3,11 % bzw. 3,84 %, für Schinken- und Lachsanteil liegt der Schätzfehler immerhin noch bei ca. 6 % (Tabelle 1).

Tab. 1: Kennzahlen der Regression für wertvolle Teilstückanteile mit optiSORT-Daten

	B	RMSE [%]	CV [%]
Schinkenanteil	0,15	1,15	6,15
Lachsanteil	0,09	0,44	6,06
Bauchanteil	0,09	0,49	3,11
Schulteranteil	0,10	0,33	3,84

Für den Vergleich des mit einer Waage ermittelten Gewichts in der Selektionsbox und den per Videobildanalyse ermittelten „optischen“ Gewichts sind 43.736 Einzeltierbewegungen aus der gesamten Mastphase in die Berechnungen eingegangen. Das Bestimmtheitsmaß liegt bei 0,95, der RMSE bei 4,52 kg, der Variationskoeffizient bei 5,42 %. Der Einsatz der Videobildanalyse zur Ermittlung eines optischen Gewichts ist demnach mit zufriedenstellender Genauigkeit möglich.

Für den Vergleich von AutoFOM-Daten mit optiSORT-Daten ist zunächst einmal zu beachten, dass auch das AutoFOM-Verfahren ein Schätzverfahren ist. Tholen hat in 2004 für verschiedene Herkünfte die Schätzgenauigkeit der AutoFOM-Methode für Teilstückgewichte und Teilstückanteile ausgewertet. Der relative Schätzfehler oder Variationskoeffizient des AutoFOM-Verfahrens für Schinken und Lachs liegt zwischen 5 und 7,7 % für die Teilstückgewichte und bei 4,4 % bis 7,5 % für die Teilstückanteile (Tabelle 2).

Tab. 2: Schätzgenauigkeit mit AutoFOM von Teilstückgewichten (kg) und Anteilen (%)

Merkmal	Herkunft	Teilstückgewichte		Teilstückanteile	
		B [%]	CV [%]	B [%]	CV [%]
Lachs	Pi	93,6	7,05	77,4	5,05
	DE/DL	62,2	7,73	36,2	7,72
	Pi-Westhybrid	84,0	6,14	34,8	5,82
	db-L65 x db-Sau	72,4	7,87	32,5	7,49
Schinken schier	Pi	84,4	6,02	55,9	4,40
	DE/DL	80,9	5,04	51,1	4,63
	Pi-Westhybrid	70,7	6,01	49,2	5,54
	db-L65 x db-Sau	93,2	6,25	57,0	4,99

(Quelle: E. THOLEN et al.)

Vergleicht man die Schlachtdaten nach AutoFOM mit den Daten des optiSORT-Verfahrens (zum Zeitpunkt der Selektion für die Schlachtung) in Tabelle 3, so weisen die Bestimmtheitsmaße überwiegend niedrige Werte auf. Für die Interpretation der niedrigen Bestimmtheitsmaße ist darauf hinzuweisen, dass die Ausgangsdaten nur eine geringe Streuung aufweisen, da durch die verschiedenen Verkaufszeitpunkte ja möglichst gleichartige Mastschweine zum jeweiligen Termin aus der Großgruppe herausgefiltert werden. In solchen Fällen ist das Bestimmtheitsmaß weniger gut geeignet.

Die ermittelten Variationskoeffizienten zeigen, dass für viele Kriterien, die für die Schlachtung relevant sind, ausreichend genaue Schätzwerte geliefert werden. Insbesondere das Schlachtgewicht und das ermittelte Gewicht für Bauch und Schulter werden gut vorausgeschätzt. Für die wertvollen Teilstücke Schinken und Lachs sind mit einem Variationskoeffi-

zienten um 7,4 % noch weitere Verbesserungsmöglichkeiten in die Software einzuarbeiten. Die Umsetzung der Messdaten in die errechneten Größen „Indexpunkte“ zeigt, dass mit Variationskoeffizienten um 6 % für diesen ersten Mastdurchgang schon eine akzeptable Schätzmethode gefunden wurde. Vermutlich führt die subjektive Einstufung durch den Mäster insgesamt zu einer weniger erfolgreichen Verkaufsstrategie.

Tab. 3: Statistische Bewertungskriterien für den Datenvergleich aus AutoFOM und optiSORT

	B	RMSE	CV [%]
Schinken schier	0,35	1,35 kg	7,37
Lachs	0,34	0,52 kg	7,36
Bauch	0,49	0,73 kg	4,72
Schulter schier	0,50	0,47 kg	5,52
MFL - Bauch	0,21	4,01 %	7,92
Schlachtgewicht	0,61	3,66 kg	3,71
Indexpunkte gesamt	0,26	5,73 Pkt.	6,10
Indexpunkte / kg SG	0,12	0,05 Pkt/kg	5,79

Zusammenfassend kann man feststellen, dass mit der Videobildverarbeitung mit dem optiSORT-System der Firma Hölscher + Leuschner am lebenden Tier Daten gewonnen werden, die eine zufriedenstellende Schätzgenauigkeit für einige Teilstückgewichte und Teilstückanteile liefern. Das Verfahren stellt ein geeignetes Hilfsmittel für die AutoOM-Vermarktung dar. Die Videobildverarbeitung kann darüber hinaus auch im Verlauf der Mastperiode als ein nützliches Instrument zur Verbesserung der Tierhaltung eingesetzt werden.

#### 4 Ausblick

In der Großgruppenhaltung ist die Tierbeobachtung und -kontrolle erschwert. In der großen Zahl der Tiere sind einzelne, evtl. nur wenig auffällige Tiere nur schwer zu entdecken, zumal viele Tiere ruhen und aufgetrieben werden müssen. Auch stehen bei der Vielzahl der Fütterungstermine der Sensorfütterung nicht alle Tiere zu diesen Fütterungszeiten auf, wie es bei konventionellen Fütterungssystemen mit 2- oder 3-maliger Futtervorlage der Fall ist. Vorstadien vor Krankheiten, die sich ggfl. durch geringere Aktivität oder Fressunlust äußern, können durch menschliche Kontrollmöglichkeiten erst recht nicht festgestellt werden.

Ein solches Videosystem bietet Möglichkeiten und Ansätze, Auffälligkeiten im Tierverhalten (z. B. abweichende Anzahl der Stationsbesuche, pumpende Atmung) zu erkennen und diese Tiere durch Farbmarkierungen zu kennzeichnen.

Außerdem kann während der Mastperiode in die Fütterungsstrategie eingegriffen werden. Da die tatsächlichen täglichen Zunahmen der Gruppe ermittelt werden, können auffällige Schwankungen berücksichtigt werden. Die tägliche Futtermenge ist präziser planbar, es entstehen geringere Futterreste. Schwere Tiere können in einen anderen Fressbereich geleitet werden und Futter mit anderen Energie- und Eiweißgehalt erhalten als leichte Tiere, so dass eine optimierte Phasenfütterung möglich ist.

# Auswirkung einer Hochdruckbefeuchtung kombiniert mit Tieraktivitäts- und CO<sub>2</sub>-Regelungen auf Stallklima und Arbeitsplatzbelastung

## *Impact of high pressure water fogging combined with animal activity and CO<sub>2</sub> control on indoor air climate and working environment*

ANGELIKA HÄUSSERMANN<sup>1</sup>, DANIEL FISCHER<sup>1</sup>, JOHANNES BAUR<sup>2</sup>, EBERHARD HARTUNG<sup>1</sup>, THOMAS JUNGBLUTH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Hohenheim, Instiut für Agrartechnik, D-70593 Stuttgart

<sup>2</sup> Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft Baden-Württemberg, D-76135 Karlsruhe

**Schlüsselwörter:** Staub, Bioaerosole, Lüftungsregelung, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>  
**Keywords:** Dust, bioaerosols, ventilation control, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>

### **Zusammenfassung**

*Inhalt des DFG-Forschungsprojektes war die Entwicklung innovativer Lüftungsstrategien und die Überprüfung ihrer Auswirkung auf die Höhe und Dynamik von Schadgasen, luftgetragenen Partikeln und Bioaerosolen in Mastschweineeställen. Die Erfassung der arbeitsplatzrelevanten Aerosolkonzentrationen nach EN 481 sowie der Konzentrationen an Endotoxinen, Schimmelpilzen und Bakterien fand diskontinuierlich während vier Versuchsdurchgängen statt. Eine Verringerung des Volumenstroms durch den Einsatz der Befeuchtung hatte grundsätzlich eine Erhöhung der mittleren Schadgas- und Staubkonzentration zur Folge. Die getesteten zusätzlichen Regelparameter sind dabei geeignet einer höheren Arbeitsplatzbelastung entgegenzuwirken. Ein Einfluss der Lüftungsstrategien und der Befeuchtung auf die Höhe der Bioaerosolkonzentration im Stall konnte nicht festgestellt werden.*

### **Summary**

*Main topic of the DFG funded research project was to develop innovative ventilation control strategies as well as to test there effect on the level and dynamics of harmful gases, airborne particles and bioaerosols in fattening pig facilities. Measurements on aerosols with relevance for work place and workers health were done discontinuously during four fattening periods according to EN 481. Also discontinuously endotoxin concentrations, moulds and bacteria were measured. The reduction of the ventilation rate due to the use of high pressure water fogging in principle was associated with higher mean gas and dust concentrations. In this connection the tested additional control parameters are suitable to counteract a higher health stress at working environment. An influence of the ventilation strategies and the water fogging on bioaerosols could not be ascertained.*

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Das komplexe System Stallklima wird neben der Innenraumtemperatur von verschiedensten Faktoren wie Luftfeuchte, Luftaustauschrate und die Freisetzung von Schadgasen und Aerosolen beeinflusst. Problembereiche stellen im Sommer bei hohen Luftwechselraten vorwiegend hohe Innenraumtemperaturen dar, verbunden mit Hitzestress und Leistungsminderung bei den Tieren. Eine geeignete Maßnahme kann hier u. a. die adiabatische Kühlung der Innenraumtemperatur durch Evaporation möglichst fein versprühter Wasserpartikel, in Verbindung mit einer Hochdruckbefeuchtung darstellen (HÄUSSERMANN et al., 2004a). Im Gegensatz dazu muss im Winter und bei kühlen Außentemperaturen im Normalfall zugeheizt werden, verbunden mit niedrigen Luftwechselraten und dadurch erhöhten Konzentrationen an Schadgasen, Staub und Bioaerosolen im Stall, die zu gesundheitlichen Belastungen am Arbeitsplatz führen können (HARTUNG, J. und SEEDORF, 2002). In Abhängigkeit des Managements, der Anordnung der Funktionsbereiche und der Verschmutzung der Flächen durch die Tiere kann die Luftqualität zusätzlich absinken (AARNINK, 1997; GALLMANN, 2003, RIEGER et al., 2004). Dabei können unterschiedliche Lüftungsstrategien Auswirkung auf die Höhe und Dynamik von Schadgasgehalten, luftgetragenen Partikeln und Bioaerosolen und dadurch auf die Qualität der Stallluft und somit die Belastung für Mensch und Tier haben (AERTS et al., 2004; HARTUNG, E. et al., 2004). Durch die Einbindung zusätzlicher Sensoren und Regelparameter in neuentwickelte Regelkonzepte versuchen moderne Regelsysteme auf intelligente Weise den verschiedenen, teilweise widersprüchlichen Anforderungen an Arbeitsplatzklima, Emissionsminderung und Minimierung des Energieeinsatzes gerecht zu werden. Zielsetzung des DFG-Forschungsprojektes im Rahmen des Graduiertenkollegs „Strategien zur Vermeidung der Emission klimarelevanter Gase und umwelttoxischer Stoffe aus Landwirtschaft und Landschaftnutzung“ an der Universität Hohenheim, war die Entwicklung und Überprüfung innovativer Lüftungsstrategien, die auf bekannten Zusammenhänge zwischen Stallklima, Emissionen und Stallklimaregelung basieren.

## 2 Methode und Versuchsdurchführung

Die entwickelten Regelkonzepte (HÄUSSERMANN et al., 2004b) wurden in Kooperation mit der Herstellerfirma in eine kommerzielle, die zusätzlichen Regelparameter Tieraktivität und CO<sub>2</sub>-Innenraumkonzentration verarbeitende Stallklimasoftware umgesetzt. Die verwendeten digitalen Stallklimaregler (LON-R-Bus) sind standardmäßig sowohl netzwerkfähig als auch an ein PC-gesteuertes Mess- und Datenerfassungsprogramm koppelbar. Die Überprüfung der Lüftungsstrategien im Hohenheimer Versuchsstall für Mastschweine (HARTUNG, E., 2001) erfolgte jahreszeitlich randomisiert verteilt über insgesamt vier, jeweils in dreiwöchige Mastabschnitte unterteilte, Mastdurchgänge. Dabei unterstützte eine in die Regelkonzepte integrierte Hochdruckbefeuchtung (70 bar) die Klimatisierung des Stalles. Bei der Auswertung der Untersuchungen wurde der Vergleich einer nicht-linear temperaturgeregelten Lüftung mit und ohne Befeuchtung und die, auf den zusätzlichen Regelparametern basierenden Regelstrategien, jeweils mit Befeuchtung berücksichtigt.

Die in den Versuchsstall integrierte Datenerfassung erlaubte die kontinuierliche Aufzeichnung der Außen- und Innenraumtemperatur, der relativen Luftfeuchte, des Volumenstroms,

der Tieraktivität und der Konzentrationen an  $\text{NH}_3$  und  $\text{CO}_2$ . Eine detaillierte Beschreibung der Versuchsdurchführung und der Regelstrategien befindet sich in HÄUSSERMANN et al., 2004b.

Die Erfassung der Aerosol- und Bioaerosolkonzentrationen in den beiden Versuchsabteilungen fand diskontinuierlich während der Versuche statt. Für jede Variante und jedes Abteil wurde pro Versuchsdurchgang jeweils einmal vormittags (9:00 Uhr bis 11:30 Uhr) und einmal nachmittags (12:00 Uhr bis 14:30 Uhr) eine Messungen der Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft zur Arbeitsplatzbelastung durchgeführt. Die arbeitsplatzrelevanten Aerosolgrößen alveolar, thorakal und einatembar wurden gemäß EN 481 (1993) – 50 % Abscheideeffizienz des aerodynamischer Äquivalenzdurchmesser  $d_{ae}^{50}$  bei  $4 \mu\text{m}$ ,  $10 \mu\text{m}$  und  $100 \mu\text{m}$  – durch virtuelle Impaktion, Filtersammlung und Streulichtphotometrie mit dem Staubsammel- und Messgerät Respicon<sup>TM</sup> über den Messzeitverlauf erfasst und anschließend über die gravimetrische Auswertung der Filtergewichte korrigiert. Die verwendeten hydrophoben Glasfaserfilter wurden nach jeder Messung gewechselt und nach einer Trocknungszeit von 6 Stunden verworfen.

Parallel zu den Staubmessungen wurden über die Zeitdauer von 30 Minuten Endotoxinkonzentrationen mit dem personengetragenen Gefahrstoff-Probenahmegerät PGP mit einer Durchflussrate von 1.0 l/min durchgeführt (Gesamtstaub-Filterkopf GSP, Sammelvolumen  $0,03 \text{ m}^3/\text{l}$ , Sammlung auf Glasfaserfiltern). Die Auswertung der Endotoxine erfolgte nach dem Prinzip des Limulus-Amöbozyten-Lisat Testes (LAL-Test) im Labor Phytos in Neu-Ulm. Gesamtpilze und Keimzahl wurden mit dem Probenahmegerät SAS 90 gesammelt. Die Bebrütung und Auszählung der Nährmedien erfolgte ebenfalls im Labor Phytos, Neu-Ulm.

### 3 Auswirkung der Lüftungsstrategien auf das Stallklima

Die verschiedenen Lüftungsstrategien nahmen einerseits durch die unterschiedlichen Regelparameter und -algorithmen direkten Einfluss auf die Höhe des Volumenstroms. Zum anderen wurde durch den Einsatz der Befeuchtungskühlung durch adiabatische Kühlung die Innenraumtemperatur im Tagesverlauf um bis zu 7 K verringert und damit ein indirekter Einfluss auf die Höhe des Volumenstroms ausgeübt. Dies führte bei allen Regelstrategien zu einer gegenüber der Referenz erhöhten und dadurch verbesserten Innenraumfeuchte, verbunden mit einem verringerten Volumenstrom und in Folge im Mittel geringfügig höheren  $\text{NH}_3$  und  $\text{CO}_2$  Konzentrationen (Tab. 1, siehe auch Tagesverläufe in HÄUSSERMANN et al., 2004a). Durch die zeitweise Erhöhung des Volumenstroms bei der aktivitätsgeregelten Lüftungsstrategie bzw. die Verringerung des Volumenstroms durch die Regelung über die  $\text{CO}_2$  Innenraumkonzentration erfolgte darüber hinaus eine entsprechende Verringerung bzw. Erhöhung der mittleren  $\text{CO}_2$  und  $\text{NH}_3$  Konzentrationen gegenüber der temperaturgeregelten Lüftung mit Befeuchtung. Gleichmaßen für alle Lüftungsvarianten überschritt die  $\text{CO}_2$  Innenraumkonzentration den Grenzwert von 3000 ppm jedoch jeweils nur in etwa 1 % aller Fälle (Tab. 1).

Die Verringerung des Volumenstroms durch die  $\text{CO}_2$  Regelung hatte demnach zwar eine Erhöhung der mittleren  $\text{CO}_2$  Konzentration – vor allem in Zeiträumen mit eher niedriger Innenraumkonzentration – nicht aber eine häufigere Überschreitung von maximalen  $\text{CO}_2$  Innenraumkonzentrationen zur Folge. Demgegenüber wurde die maximale  $\text{NH}_3$  Konzentration (20 ppm) bei der  $\text{CO}_2$  geregelten Lüftungsstrategie deutlich häufiger in 5,8 % aller gemessenen Fälle überschritten, mit einem allerdings geringen Anteil von nur 0,2 % aller Fälle über 25 ppm (Tab. 1).

Tab. 1: Mittelwerte unterschiedlicher Stallklimaparameter über vier Mastdurchgänge (Februar 2003 bis Juli 2004), beeinflusst durch verschiedene Lüftungsstrategien  
*Mean values of different indoor air parameters during four fattening periods (February 2003 until July 2004) as affected by different ventilation control strategies*

	Temperatur- und aktivitätsgeregelt mit Befeuchtung	Temperaturgeregelt mit Befeuchtung	CO <sub>2</sub> - und temperaturgeregelt mit Befeuchtung	Temperaturgeregelt (Referenz)
Volumenstrom [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> Tier <sup>-1</sup> ]	71,9	67,2	56,4	82,7
Innenfeuchte [%]	67	63	69	47
NH <sub>3</sub> Konzentration [ppm] Messwert > 20 ppm	7,9 (0,9 %)	8,7 (0,3 %)	10,6 (5,8 %)	7,7 (0,5 %)
CO <sub>2</sub> Konzentration [ppm] Messwert > 3000 ppm	1456 (1,0 %)	1576 (0,6 %)	1835 (1,0 %)	1408 (1,1 %)

#### 4 Beeinflussung der Staubkonzentration durch die Lüftungsregelung

Die Höhe der Staubkonzentration wurde von der Lüftungsstrategie sowie im wesentlichen von der Jahreszeit und dem Mastabschnitt beeinflusst. Die thorakale Partikelkonzentration lag im Mittel der Messtage bei die Referenzvariante ohne Befeuchtung mit 0,73 mg m<sup>-3</sup> am niedrigsten und bei der CO<sub>2</sub> geregelten Lüftungsvariante mit 0,92 mg m<sup>-3</sup> am höchsten. Eine entsprechende Relation zwischen der mittleren Volumenstromhöhe und der jeweils erfassten Staubkonzentration ist in Tab. 2 auch für alveolare und einatembare Staupartikel dargestellt. Diese Messungen wurden ausschließlich tagsüber durchgeführt und weisen daher höhere mittlere Volumenströme auf als die Gesamtuntersuchung, bieten durch die randomisierte Verteilung der Messtage bezüglich der Einflussparameter Volumenstrom und Innenraumfeuchte jedoch einen repräsentativen Gesamtausschnitt über die Lüftungsstrategien (Tab. 2). Die Einbindung des Tieraktivitäts-Signals in die Stallklimaregelung und die dadurch gezielte zeitweise Erhöhung des Volumenstroms macht sich durch eine verringerte mittlere Partikelkonzentration der aktivitätsgeregelten Lüftungsstrategie im Vergleich zur temperaturgeregelten Lüftung mit Befeuchtung bemerkbar (Tab. 2).

Tab. 2: Mittlere Staubkonzentration und Volumenstromhöhe punktueller Messungen über vier Mastdurchgänge (Februar 2003 bis Juli 2004) beeinflusst durch verschiedene Lüftungsstrategien  
*Mean dust concentrations and ventilation rates, resulting from point measurements during four fattening periods (February 2003 until July 2004), affected by different ventilation control strategies*

	Temperatur- und aktivitätsgeregelt mit Befeuchtung	Temperaturgeregelt mit Befeuchtung	CO <sub>2</sub> und temperaturgeregelt mit Befeuchtung	Temperaturgeregelt (Referenz)
Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	82.5	70.7	66.4	91.7
Innenfeuchte [%]	71	70	71	45
Alveolengängige Partikel [mg/m <sup>3</sup> ]	0.32	0.36	0.39	0.15
Thoraxgängige Partikel [mg/m <sup>3</sup> ]	0.81	0.89	0.92	0.73
Einatembare Partikel [mg/m <sup>3</sup> ]	1.4	1.5	1.6	1.4

## 5 Bioaerosole

Die gemessenen Endotoxinkonzentrationen zeigen eine deutlich jahreszeitliche Dynamik mit minimalen Endotoxinwerten von 40 bis 600 EU m<sup>-3</sup> im Frühjahr bis Herbst und maximalen Konzentrationen bis 4000 EU m<sup>-3</sup> im Winter. Die mittlere Konzentration über insgesamt 57 Messtermine lag bei 739 EU m<sup>-3</sup> und damit eher im unteren Bereich vergleichbarer Literaturwerte (RIEGER et al., 2004). Demgegenüber lassen die erfassten Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen keine jahreszeitliche Beeinflussung der Messwerte erkennen. Auch hier lagen die Mittelwerte vergleichsweise niedrig bei 924 KBE m<sup>-3</sup> (Schimmel, Bebrütungstemperatur 22 °C), 239 KBE m<sup>-3</sup> (Schimmel, Bebrütungstemperatur 37 °C), 0,14 Mio KBE m<sup>-3</sup> (Bakterien, Bebrütungstemperatur 35 °C) und 52 KBE m<sup>-3</sup> (Aktinomyceten, Bebrütungstemperatur 56 °C). Ein Einfluss der unterschiedlichen Lüftungsstrategien, eines verminderten Volumenstroms oder der Befeuchtung auf die Höhe der Bioaerosolkonzentrationen konnte bei keinem der erfassten Parameter festgestellt werden. Dies ist zum Teil durch die allgemein hohe Streubreite bei der Erfassung von Bioaerosolkonzentrationen erklärbar. Einen wesentlich größeren Einfluss auf die absolute Bioaerosolkonzentration im Stall weisen jedoch vor allem Tätigkeiten des Landwirtes selbst sowie das Management und die Hygiene im Stall, wie auch die Dimensionierung der Lüftung auf (HARTUNG, E. et al., 2004).

## 6 Schlussfolgerungen

Die verschiedenen Lüftungsstrategien übten sowohl über die Befeuchungskühlung der Innenraumtemperatur und die damit verbundene Senkung des Volumenstroms als auch über die direkte Beeinflussung der Volumenstromhöhe einen Einfluss auf das Stallklima aus.

Eine Verminderung des Volumenstroms war grundsätzlich mit einer Erhöhung der Schadgase und Staubpartikel verbunden. Durch die Verwendung zusätzlicher Regelparameter wie

die CO<sub>2</sub> Innenraumkonzentration konnte dabei jedoch ein häufigeres Überschreiten maximaler CO<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub> Konzentrationen vermieden werden.

Die Einbindung des Tieraktivitäts-Signals in die Regelstrategie realisierte bei den Untersuchungen sehr gut die zeitnahe Erfassung von und Reaktion auf Belastungs-Spitzen im Stall, die durch eine erhöhte Tieraktivität ausgelöst wurden. Darauf basierend können grundsätzlich unmittelbar Gegenmaßnahmen wie eine kurzzeitige Erhöhung des Volumenstroms und das Versprühen von Wasser oder Öl erfolgen. Ein Einfluss der Lüftungsstrategien und der Befeuchtung auf die Höhe der Bioaerosolkonzentration im Stall konnte nicht festgestellt werden.

## 7 Literatur

AARNINK, A. (1997): Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Dissertation Landbouwniversiteit Wageningen.

AERTS, J.-M.; GUARINO, M.; PORRO, M.; NAVAROTTO, P.; VAN BRECHT, A.; VRANKEN, E.; BERCKMANS, D. (2004): Influence of ventilation rate on dust emission from fattening pig houses. Intern. Symp. New Trends on Farm Buildings, CIGR 2nd Techn. Sect., Portugal.

EN 481 (1993): European standard, workplace atmospheres – size fraction definitions for measurements of airborne particles. CEN European Committee for Standardization, Rue de Stassart 36, 1050 Brussels, Belgique.

GALLMANN, E. (2003): Vergleich von zwei Haltungssystemen für Mastschweine mit unterschiedlichen Lüftungsprinzipien – Stallklima und Emissionen. VDI-MEG Schrift 404, Dissertation Universität Hohenheim.

HAEUSSERMANN, A.; HARTUNG, E.; JUNGBLUTH, T. (2004a): High Pressure Water Fogging combined with Innovative Ventilation Control – Concluding Effects on Process Control and Indoor Air Quality. AgEng Conference "Engineering the Future", Belgium.

HÄUSSERMANN, A.; HARTUNG, E.; JUNGBLUTH, T. (2004b): Entwicklung innovativer Lüftungssysteme für Mastschweine, Teil I – Methode und erste Ergebnisse. Agrartechnische Forschung 10, S. 7–15; Heft 1/2004.

HARTUNG, E. (2001): Konzeption, Realisierung und Evaluierung einer Versuchseinrichtung zur Entwicklung und differenzierten Beurteilung von Haltungssystemen für Mastschweine. VDI-MEG Schrift 392, Habilitationsschrift Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim.

HARTUNG, E.; OLLESCH, K.; HÄUSSERMANN, A.; RIEGER, M. A.; DIEFENBACH, H.; SUNDRUM, A.; EBKE, M.; LOHMEYER, M. (2004): Stallluftqualität und Arbeitsplatzbelastungen in unterschiedlichen Mastschweinehaltungsverfahren. Agrartechnische Forschung 10, Heft 4.

HARTUNG, J.; SEEDORF, J. (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. KTBL-Schrift 393, Darmstadt.

RIEGER, M. A.; SUNDRUM, A.; JUNGBLUTH, T.; HARTUNG, E.; LOHMEYER, M. (2004): Fragen des Arbeits-, Tier- und Umweltschutzes bei der Schweinemast in verschiedenen Systemen unter besonderer Berücksichtigung mikrobieller Belastungen. Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Schlussbericht Projekt 02OE615.

# Betriebsmanagement in der Landwirtschaft – Systematisierung und Ansatz für die Arbeitszeitermittlung

## *Farm management – systematization and approach for working time recording*

CHRISTOPH MORIZ

Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

**Schlüsselwörter:** Betriebsmanagement, Arbeitszeit, Einflussgrößen, Planzeitelemente  
**Keywords:** *Farm management, working time, influencing factors, target time elements*

### **Zusammenfassung**

Die Arbeiten im Rahmen der Betriebsführung gewinnen in der Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Im Gegensatz zu den produktionsbezogenen Tätigkeiten steht im Bereich der Betriebsführung für die arbeitswirtschaftliche Planung Datenmaterial nur in geringem Umfang zur Verfügung, sodass für Planungszwecke zu treffende Aussagen schwierig zu formulieren sind.

Ausgehend von einer Systematik für das gesamte Betriebsmanagement sollen für alle anfallenden Managementarbeiten mit Hilfe eines neuen methodischen Ansatzes Planzeitelemente und Einflussgrößen ermittelt werden. Dabei wird zwischen der Erfassung von Einflussgrößen [EFG] einerseits und der Ermittlung von Planzeitelementen [PZE] andererseits unterschieden. Für die Erfassung der EFG ist eine empirische Erhebung vorgesehen. Die PZE sollen in Form von Arbeitsversuchen bestimmt werden. Die so gewonnene Datengrundlage bildet die Basis für die Berechnung der Arbeitszeit für die Betriebsführung mit Hilfe von Modellen.

### **Summary**

Farm-management activities are of growing importance in agriculture. In contrast to production-related tasks, however, there is little work-organization data available for farm-management activities, making it difficult to formulate reliable statements for work-planning purposes.

Based on a systematic farm-management system, the present study aims to identify target time elements and influencing factors for all farm management tasks by means of a new methodological approach. This method involves a separate recording of influencing factors, which are determined on the basis of an empirical analysis, and target time elements, which are quantified within the scope of work experiments. The data collected is then used to calculate working time in farm management by means of calculation models.

## 1 Einleitung und Problemstellung

Bis vor wenigen Jahren nur unzureichend beachtet und aufgrund dessen in der arbeitswissenschaftlichen Forschung nicht entsprechend seiner Bedeutung behandelt, hat der Arbeitszeitbedarf für die Betriebsführung in der Landwirtschaft in den letzten Jahren, insbesondere auch in Relation zum Gesamtarbeitszeitbedarf, erheblich zugenommen. Im Wesentlichen bedingen die voranschreitende Mechanisierung der Feld- und Hofarbeiten sowie eine starke Ausdehnung administrativer Tätigkeiten diese Zunahme. Innerhalb eines landwirtschaftlichen Unternehmens nehmen daher die Arbeiten im Rahmen der Betriebsführung, unabhängig von dessen Grösse und dessen wirtschaftlicher Ausrichtung, auch im Hinblick auf den erforderlichen Arbeitszeitbedarf eine zentrale Position ein.

Dieser wichtigen Stellung muss aktuell und zukünftig die entsprechende Bedeutung beigemessen werden, denn das bisweilen diesbezüglich für Planungszwecke zur Verfügung stehende arbeitswirtschaftliche Datenmaterial entspricht weder im Umfang noch in der Qualität der Bedeutung von Betriebsführungsarbeiten in der Landwirtschaft.

Im Gegensatz zu den direkt produktionsbezogenen Arbeiten (z. B. Melken, Pflügen) mangelt es neben den eigentlichen arbeitswirtschaftlichen Kennzahlen im Rahmen der Betriebsführung vor allem an einer grundlegenden und geeigneten Systematisierung der entsprechenden Arbeiten, welche die Basis für eine genaue und differenzierte Erfassung und anschliessende Berechnung bildet. Nicht zuletzt erfordert auch die Datenerfassung in diesem Zusammenhang die Entwicklung neuer methodischer Ansätze, um den Besonderheiten von Betriebsführungsarbeiten Rechnung tragen zu können.

## 2 Grundlagen und Systematik

Mit der Forderung, den Arbeitszeitbedarf für die Betriebsführung nicht mehr ausschliesslich auf Gesamtbetriebsebene auszuweisen, sondern sowohl verteilt auf unterschiedliche Betriebszweige und Produktionsverfahren als auch aufgeschlüsselt nach verschiedenen Arbeitsgebieten (Antragswesen, Finanzen, Weiterbildung etc.) angeben zu können, stellt sich die Frage nach einer grundlegenden systematischen Gliederung von Betriebsführungsarbeiten in der Landwirtschaft. Eine derartige Unterteilung bildet einerseits die Grundlage für eine differenzierte Datenerfassung und andererseits stellt sie die Voraussetzung für die Abbildung und Berechnung des Arbeitszeitbedarfs für die Betriebsführung in einem Modell dar (Abb. 1).

Nach wie vor lässt die nach unterschiedlichen Aspekten aufgegliederte Darstellung des Arbeitszeitbedarfs für die Betriebsführung eine Zusammenfassung zum Gesamtarbeitszeitbedarf auf Unternehmensebene zu. Vollzieht sich aber die Datenerfassung bereits in aggregierter Form, ist eine Zuteilbarkeit zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr möglich.

Die bewusste Zuordnung von Betriebsführungsarbeiten zu einzelnen Betriebszweigen bzw. Produktionsverfahren begründet sich in der Annahme, dass innerhalb jedes Produktionsverfahrens ein gewisser Anteil an Managementtätigkeiten und Sonderarbeiten auftritt und zu erledigen ist. Aufgrund dessen erfolgt eine erste Differenzierung in einen zuteilbaren und in einen nicht zuteilbaren Bereich.

Im Rahmen der Betriebsführung nicht zuteilbare Arbeiten beziehen sich stets auf die Ebene des Gesamtbetriebes, während die zuteilbaren Tätigkeiten entweder einem Produktionsverfahren, einem Betriebszweig oder einem Betriebsbereich direkt zugeordnet werden können.

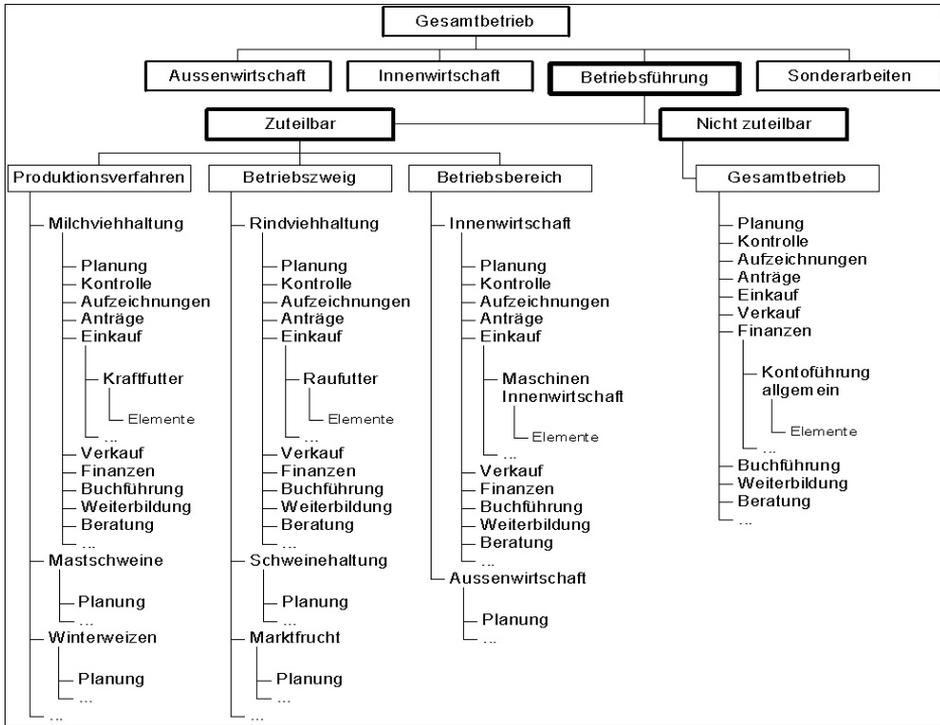


Abb. 1: Gliederung der Managementarbeiten auf dem Landwirtschaftsbetrieb  
 Structure of farm management tasks

Mit der Absicht, den überwiegenden Anteil an Betriebsführungsaufgaben direkt einem Produktionsverfahren zuzuweisen, wird gleichzeitig das Ziel verfolgt, den Umfang an nicht zuteilbaren Arbeiten so minimal wie möglich zu halten. Die ausschliessliche Betrachtung der Betriebsführung auf gesamtbetrieblicher Ebene erweist sich demzufolge als nicht mehr zeitgemäss. Vielmehr sollten die direkt zuteilbaren Arbeiten als zusätzliche Arbeitsverfahren innerhalb der einzelnen Produktionsverfahren interpretiert werden (Abb. 2).

Das Problem der Zuteilbarkeit, vor allem im Hinblick auf die entstehenden Arbeitskosten, wie man es beispielsweise auch von der Verteilung der Gemeinkosten her kennt, kann somit weitestgehend gelöst werden.

Analog zur beschriebenen Differenzierung und Zuteilung der Arbeiten innerhalb der Betriebsführung wird diese Gliederung auch für die Sonderarbeiten vorgenommen. Eine derartige systematische Unterteilung von Betriebsführungs- und Sonderarbeiten gewährleistet letztendlich die erforderliche Differenzierung für die entsprechende Datenerfassung und -auswertung sowie die modellbasierte Darstellung und Berechnung des Arbeitszeitbedarfs.

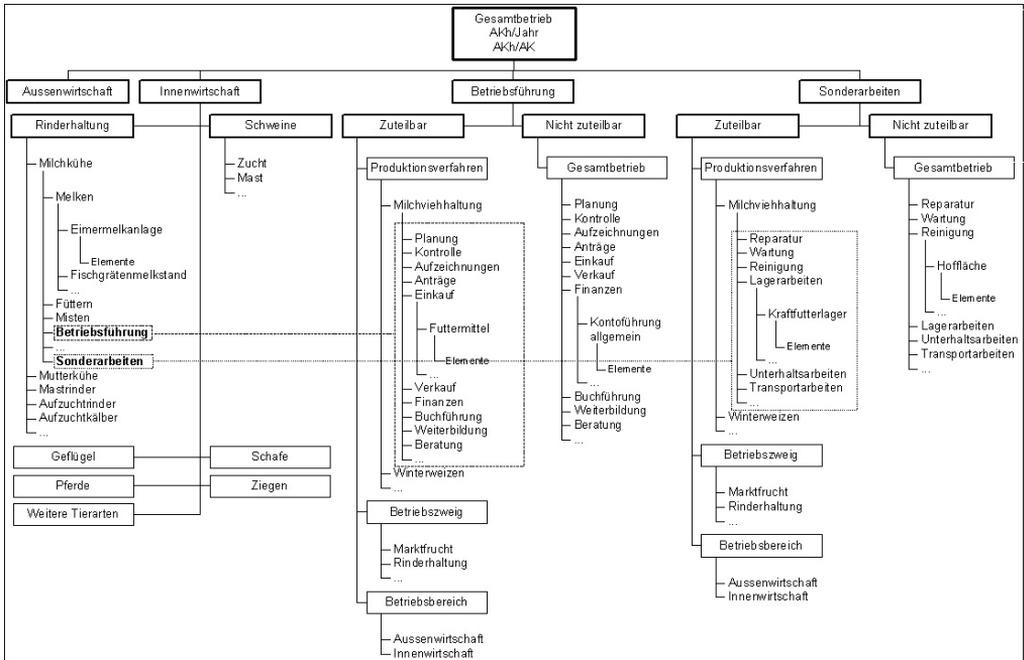


Abb. 2: Eingliederung der Betriebsführungsarbeiten in die Systematik „Arbeiten auf dem Landwirtschaftsbetrieb“  
*Integration of management work into the "working on the farm" system*

### 3 Methodische Vorgehensweise

#### 3.1 Ausgangssituation

Bisweilen durchgeführte Untersuchungen beschränkten sich bei der Erfassung von Betriebsführungsarbeiten meist auf empirische Methoden oder die Erfassung mittels Tages- oder Wochenarbeitsblättern. Aufgrund dessen war eine sehr differenzierte, auf einzelne Produktionsverfahren bezogene Betrachtung des Arbeitszeitbedarfs für die Betriebsführung rückwirkend nicht möglich. Die Auswertung sowie die Ergebnisdarstellung beschränkten sich überwiegend auf eine gesamtbetriebliche Betrachtungsweise.

Demzufolge stellt sich gerade bei der Berechnung des Gesamtarbeitszeitbedarfs für einzelne Produktionsverfahren nach wie vor das Problem der Zuteilung gesamtbetrieblich ermittelter Arbeitszeiten für die Betriebsführung. Ebenso lässt eine nur sehr wenig differenzierte Form der Datenerfassung weder die Erstellung von Planzeitelementen noch die Angabe von Einflussgrößen zu. Diese Daten bilden aber die Grundlage für die Berechnung des Arbeitszeitbedarfs mit Hilfe eines Modells, das ermöglicht, auch betriebsspezifische Datensätze individuell zu integrieren.

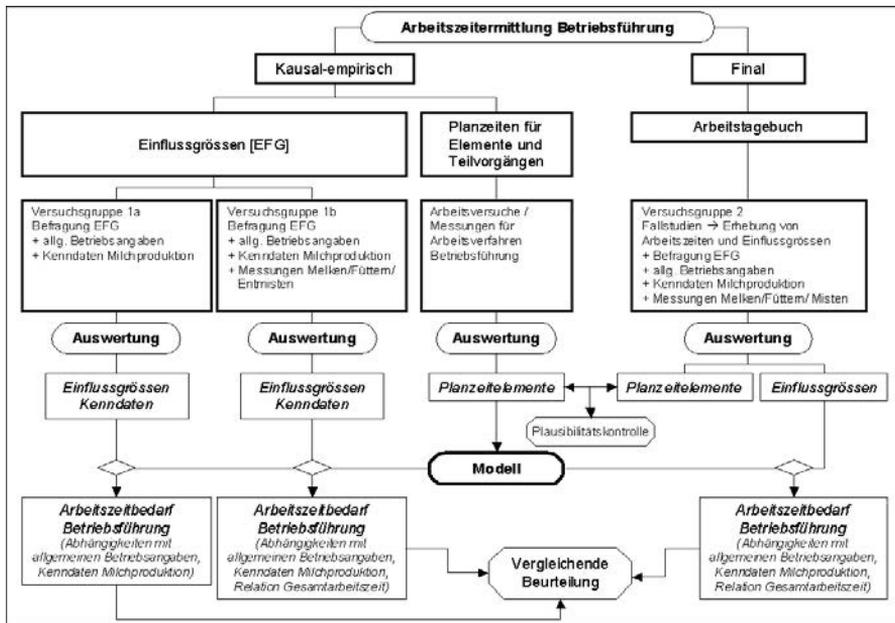


Abb. 3: Methodische Vorgehensweise bei der Arbeitszeitermittlung für Betriebsführungsarbeiten  
 Methodical approach to record the time spent for farm management tasks

An einen neuen methodischen Ansatz hinsichtlich der Arbeitszeitermittlung für Betriebsführungsarbeiten stellt sich demnach die grundsätzliche Anforderung, Planzeitelemente und Einflussgrößen differenziert ermitteln und anschliessend in ein Berechnungsmodell integrieren zu können. Insbesondere müssen dabei die Besonderheiten der Betriebsführung in landwirtschaftlichen Unternehmen Berücksichtigung finden.

### 3.2 Kausal-empirischer Ansatz

Die in Abbildung 3 dargestellte Methode trennt strikt zwischen der Erfassung von Einflussgrößen [EFG] und der Ermittlung von Planzeitelementen [PZE]. Die Erhebung der EFG wird in Form einer empirischen Erhebung realisiert. Die Entscheidung zu Gunsten einer persönlichen Befragung trägt der Komplexität der Thematik entsprechend Rechnung. Diese separate Erfassung der EFG hat für die befragten Personen den Vorteil, dass sie lediglich die EFG selbst benennen bzw. beziffern müssen, unabhängig davon, wie viel Zeit sie für die entsprechende Tätigkeit aufgewendet haben. Für die Ermittlung der Planzeitelemente ist die Durchführung von Arbeitsversuchen vorgesehen, wobei die Arbeitsversuche sowohl mit verschiedenen Versuchspersonen als auch innerhalb mehrerer Durchgänge wiederholt werden sollen.

### 3.3 Modellierung

Die so gewonnenen Grundlagendaten [EFG und PZE] werden in Datenbanken abgelegt und bilden die Basis für die Erstellung eines Berechnungsmodells, welches der Systematik in

Abbildung 1 entspricht. Innerhalb des Modells können ausgehend von einer betriebsindividuellen Eingabe der EFG weitere, abhängige EFG berechnet werden. Die Berechnung des Arbeitszeitbedarfs basiert anschliessend auf einer Verknüpfung der EFG mit den dazugehörigen PZE. Die PZE werden mit den entsprechenden EFG multipliziert, und anschliessend erfolgt die Addition zur Gesamtarbeitszeit für die Betriebsführung. Das Modell liefert somit eine betriebspezifische Variationsmöglichkeit durch die Veränderung der EFG und damit eine individuelle Form der Planungsrechnung.

Neben dem Arbeitszeitbedarf auf Unternehmensebene können auch Aussagen für einzelne Produktionsverfahren oder Betriebszweige getroffen werden. Weiterhin besteht die Option den Arbeitszeitbedarf auch differenziert nach verschiedenen Arbeitsgebieten auszuweisen.

## 4 Literatur

AUERNHAMMER, H. (1976): Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse. KTBL-Schrift Nr. 203, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.

FORSTER, R. (2002): Methodische und praktische Entwicklung eines Systems zur Planung dispositiver Arbeiten in landwirtschaftlichen Unternehmen. Dissertation TU München, Professur für Unternehmensforschung und Informationsmanagement. 141 S. + Anhang.

HAMMER, W. (1976): Arbeitszeit- und Beanspruchungsfunktionen. KTBL-Schrift Nr. 202, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.

HELMCKE, B.; RÖDERS, J. (1994): Arbeitszeitbedarf für Betriebsführung und allgemeine Betriebsarbeiten in Marktfruchtunternehmen mit einer Flächenausstattung von mehr als 100 ha LF. Studie im Rahmen des KTBL-Arbeitsprogramms „Kalkulationsunterlagen“.

MORIZ, C. (2004): Arbeitszeitermittlung für das Betriebsmanagement – ein kausal-empirischer Ansatz. In: FAT-Schriftenreihe Nr. 62, S. 51–57.

# Arbeitswissenschaftliche Betrachtungen zur Milchviehhaltung unter Berücksichtigung von Zeitbedarf, Arbeitsproduktivität und -belastung

## *Work-economics aspects of dairy farming taking into account working-time requirements, work productivity and work load*

MATTHIAS SCHICK

Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

**Schlüsselwörter:** Arbeit, Arbeitszeitbedarf, Arbeitsbelastung, Arbeitsproduktivität, Arbeitselement, Planzeit, Modellkalkulationssystem

**Keywords:** Working, work time requirement, work load, labour productivity, work element, task time, model calculation system

### **Zusammenfassung**

Die Tätigkeiten in der Innenwirtschaft bestimmen den Arbeitszeitbedarf und auch die Arbeitsbelastung für verschiedene Milchproduktionssysteme wesentlich. Dabei sind die Verfahrensabläufe beim Melken und Füttern von grösster Bedeutung. Hinzu kommt zukünftig der steigende Anteil an Managementtätigkeiten, die zu erledigen sind.

Milchproduktionssysteme mit Bestandesgrössen zwischen 40 und 1000 Milchkühen erfordern einen Gesamtarbeitszeitbedarf zwischen 90 und ca. 50 AKh je Kuh und Jahr. Die Arbeitsproduktivität liegt dabei in einem Bereich zwischen 75 und mehr als 190 kg ECM/AKh.

Der Anteil der körperlich belastenden Arbeitszeit steigt mit zunehmender Bestandesgrösse auf bis zu 35 % der täglichen Gesamtarbeitszeit an.

### **Summary**

Working time requirements and work load in different dairy production systems primarily depend on the tasks to be carried out in the stable. Thereby, technical procedures in milking and feeding are of major importance. In addition to this, the future increase in management tasks must also be taken into consideration.

Milk production systems involving herd sizes of between 40 and 100 dairy cows require a total working time of between 90 and approx. 50 MPh per cow and year. Thereby, work productivity varies between 75 and over 190 kg ECM/MPh.

The proportion of physically strenuous working time increases with growing herd sizes to up to 35 % of the total working time.

## 1 Einleitung und Methodik

Arbeitswirtschaftliche Grunddaten für die verschiedensten Arbeitsverfahren (z. B. Melken, Füttern, Misten, Sonderarbeiten) liegen in Form von Arbeitszeitmessungen auf der Arbeitselementstufe vor. Die auf jedes Arbeitselement einwirkenden Einflussgrößen (z. B. Weglänge, Milchmenge, Futtermasse) werden während und nach den Zeitmessungen erfasst. Das statistisch ausgewertete Datenmaterial wird in Form von abgesicherten Planzeitwerten und -funktionen aufbereitet und für weitergehende Berechnungen in Einzelmodulen abgelegt. Ein einfaches Hilfsmittel zur arbeitswirtschaftlichen Analyse von Arbeitsverfahren in der Innenwirtschaft kann mit dem Modellkalkulationssystem PROOF zur Verfügung gestellt werden (SCHICK, 2001).

Körperhaltungen werden ebenfalls auf der Stufe Arbeitselement erfasst. Die gewählte Methode lässt die Erfassung von vier Rückenpositionen, drei Armhaltungen und sieben Beinhalten zu. Im Modellkalkulationssystem wird jede Körperhaltung einer Massnahmenklasse (MKL) zugeordnet. Davon ausgehend erfolgt eine eindeutige Aussage zum Handlungsbedarf. Für das gesamte Arbeitsverfahren lässt sich daraus ein dimensionsloser Belastungsindex (L) ermitteln. Dieser wird durch die Gewichtung der relativen Anteile der einzelnen Massnahmenklassen am Gesamtverfahren errechnet (PINZKE 1999). Durch den Einbezug der exakt von Hand bewegten Massen entsteht ein Belastungsindex ( $L_m$ ) mit verbesserter qualitativer Aussagekraft (SCHICK u. RIEGEL 2003).

Zur quantitativen Vergleichbarkeit von Arbeits- und Produktionsverfahren - und auch für weitergehende betriebswirtschaftliche Betrachtungen - kann die körperliche Arbeitsbelastung ebenfalls in Stunden pro Tag ausgedrückt werden. Dabei wird pro Arbeitsverfahren die Zeit sämtlicher Arbeitselemente, die den MKL 2–4 zugeordnet sind, summiert. Um zusätzlich die von Hand bewegte Masse zu berücksichtigen, wird die Summe der Arbeitszeit aller Arbeitselemente des Verfahrens mit MKL 2–4, bei denen eine Masse von  $> 2$  kg bewegt wird, gebildet. Aus beiden Summen und der Gesamtzeit für das interessierende Arbeitsverfahren lassen sich nun die „Belastenden Arbeitskraftstunden“ ( $B_{AKh}$ ) pro Tag berechnen. Ebenfalls wird erst hierdurch die Bewertung von Optimierungsmassnahmen hinsichtlich ihres ergonomischen, arbeitswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Erfolgs ermöglicht.

Gleichung 1: Belastende Arbeitskraftstunden pro Tag  
*Strenuous manpower hours per day*

$$B_{AKh} = G_K \cdot \sum AZ_K + G_{KM} \cdot \sum AZ_{KM}$$

AZ	=	Arbeitszeitbedarf je Arbeitsverfahren
AZ <sub>K</sub>	=	Arbeitszeitbedarf je Arbeitsverfahren mit MKL 2, MKL 3 und MKL 4
AZ <sub>KM</sub>	=	Arbeitszeitbedarf je Arbeitsverfahren mit MKL 2, MKL 3 und MKL 4 und Masse $\geq 2$ kg
G <sub>K</sub>	=	Gewichtung Körperstellung ohne Masse
G <sub>KM</sub>	=	Gewichtung Körperstellung mit Masse

## 2 Arbeitszeitbedarf

Für den arbeitswirtschaftlichen Vergleich der verschiedenen Produktionssysteme wurden drei Bestandesgrößen mit 40, 120 und 1000 Milchkühen ausgewählt (siehe Abb. 1 und Tab. 1).

Die Bestandesgrößen mit 40 und 120 Milchkühen sind als Familienbetriebe ohne Angestellte geführt. Die Betriebe mit 1000 Milchkühen werden als Betriebe mit Lohnarbeitskräften geführt. Es wird deutlich, dass der Anbindestall unabhängig von der Bestandesgröße immer den höchsten Arbeitszeitbedarf verursacht. Alle Laufstallsysteme erfordern weniger Arbeit. Die Produktionssysteme mit Weide im Sommer und Konservierungsfutter im Winter verursachen mehr Arbeit als diejenigen mit Ganzjahressilage.

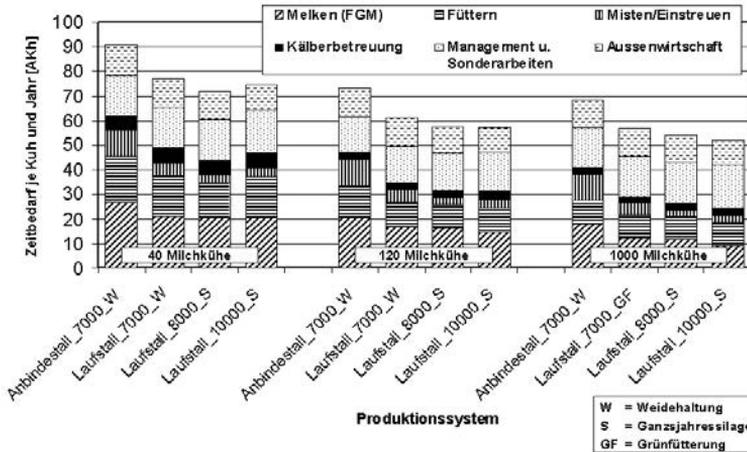


Abb. 1: Arbeitszeitbedarf für verschiedene Produktionssysteme in der Milchviehhaltung  
*Working-time requirements of different milk production systems*

Es wird verdeutlicht, dass der Einsparungseffekt an Arbeitszeit je Kuh und Jahr bei einer Bestandesveränderung von 40 auf 120 Kühe in diesen Systemen zwischen 14 und 17 AKh bzw. 19–20 % beträgt. Bei einer weiteren Ausdehnung auf 1000 Kühe verringert sich die mögliche Einsparung auf 4–5 AKh je Kuh und Jahr bzw. 7–10 %. Das Einsparungspotenzial ist vorwiegend auf den Rationalisierungsgrad und die verbesserte Auslastung der Arbeitskräfte bei den Melkarbeiten zurückzuführen. Dieser zusätzliche Einsparungseffekt ist allerdings nur bei optimaler Anordnung der Stallgebäude mit kurzen Wegen für alle Beteiligten (Melkpersonal, Kühe und Treibpersonal) realisierbar.

Tab. 1: Erläuterungen zu den untersuchten Produktionssystemen  
*Description of the production systems investigated*

Anbindestall_7000_W	Anbindestall mit Kurzstand, Rohrmelkanlage, 7000 kg Jahresmilch, Hochsilo und Rundballen, Weideentfernung 100 m
Laufstall_7000_W	Laufstall mit Tiefboxen, Fischgrätenmelkstand, 7000 kg Jahresmilch, Hochsilo und Rundballen, Weideentfernung 100 m
Laufstall_8000_S	Laufstall mit Hochboxen, Fischgrätenmelkstand mit Servicearm, 8000 kg Jahresmilch, Flachsilo, Ganzjahressilage, Fräsmischwagen
Laufstall_10000_S	Laufstall mit Hochboxen, Fischgrätenmelkstand mit Servicearm und Anrüstautomat, 10000 kg Jahresmilch, Ganzjahressilage, Flachsilo, Fräsmischwagen

### 3 Arbeitsproduktivität

Die Arbeitsproduktivität des Gesamtsystems Milchviehhaltung ergibt sich aus dem Quotienten der gesamten Produktionsmenge (kg ECM [ECM = Energiekorrigierte Milchmenge]) und eingesetzter Gesamtarbeitszeit (AKh) für Innenwirtschaft, Aussenwirtschaft und Management. In der Innenwirtschaft findet die Jungviehaufzucht keine Berücksichtigung bei der Berechnung der Arbeitsproduktivität.

Durch die Aufteilung der anfallenden Rüst- und Reinigungstätigkeiten auf mehr Milchkühe, und den erheblichen Rationalisierungseffekt lässt sich die Arbeitsproduktivität bei allen Produktionssystemen von 75 kg ECM/AKh bei 40 Milchkühen auf mehr als 190 kg ECM/AKh bei 1000 Milchkühen steigern (siehe Abb. 2). Dies ist mehr als eine Verdoppelung. Durch den Einsatz einer schlagkräftigen Lohnunternehmermechanisierung und die Auslagerung einzelner Arbeits- und ganzer Produktionsverfahren (z. B. Gülle ausbringen, Klauenpflege, Stallreinigung, Futtermittelkonservierung) lässt sich die Arbeitsproduktivität weiter erhöhen. Die Auslagerung der Jungviehaufzucht in allen Produktionssystemen trägt ebenfalls wesentlich zu einer hohen Arbeitsproduktivität, unabhängig von der Bestandesgrösse, bei.

Erwartungsgemäss hat das Produktionssystem Anbindestall mit dem höchsten Arbeitszeitbedarf die niedrigste Arbeitsproduktivität. Die Produktionssysteme mit geringen Intensitäten in der Innenwirtschaft erreichen nur dann Arbeitsproduktivitäten von mehr als 120 kg ECM/AKh, wenn für die Aussenwirtschaft ein hoher Mechanisierungsgrad mit viel Lohnunternehmereinsatz angenommen wird. Erfolgt die Sommerfütterung als kombinierte Fütterung in Form von Gras und Weide, oder auch Silage und Weide, so hat dies ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität. Produktionssysteme mit hohen Milchleistungen und Ganzjahres-silage erreichen bei allen Bestandesgrössen die höchsten Arbeitsproduktivitäten.

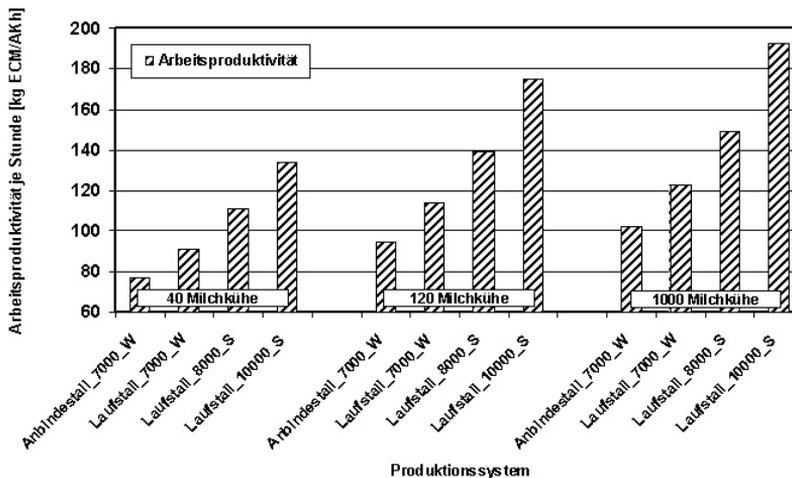


Abb. 2: Die Arbeitsproduktivität nimmt erwartungsgemäss mit zunehmender Bestandesgrösse zu  
*As expected, work productivity increases with growing herd size*

## 4 Arbeitsbelastung

Der Arbeitszeitbedarf für alle täglichen Arbeiten (ohne Management und Futterbau) steigt mit zunehmender Bestandesgrösse von 6 AKh bei 40 Kühen auf über 50 AKh bei 1000 Kühen je Bestand und Tag (siehe Abb. 1). Gleichzeitig steigt der Anteil an Tätigkeiten mit deutlicher körperlicher Belastung bei schwacher Mechanisierung beim Melken und Füttern von 28 auf 33 % an (siehe Abb. 3). Bei sehr guter Mechanisierung steigt der Anteil an körperlich belastenden Arbeiten von 16 auf 30 %. Dies bedeutet, dass durch die Bestandesgrössendegression und die eingesetzten verfahrenstechnischen Hilfsmittel (Futtermischwagen, Melkstand mit Melkarm) der Mehranteil an körperlicher Belastungszeit nicht aufgefangen werden kann.

Der Vergleich der verschiedenen Produktionssysteme im Bereich der Milchviehhaltung zeigt auf, dass der Anbindestall, trotz sehr guter technischer Ausgestaltung (Kurzstand mit Gitterrost, Absauganlage, Abnahmeautomat), das System mit der höchsten Belastung ist. Ebenfalls ist das sehr intensive Laufstallhaltungssystem bei sehr grossen Beständen, Ganzjahressilage und sehr hohen Milchleistungen bezüglich der körperlichen Arbeitsbelastung als relativ ungünstig anzusehen. Günstiger liegen bezüglich der Arbeitsbelastung mittelgrosse Bestände mit verfahrenstechnisch optimaler Ausstattung (Boxenlaufstall, Hochboxen, Fischgrätenmelkstand mit Servicearm, Futtermischwagen und mechanisiertes Futternachschieben).

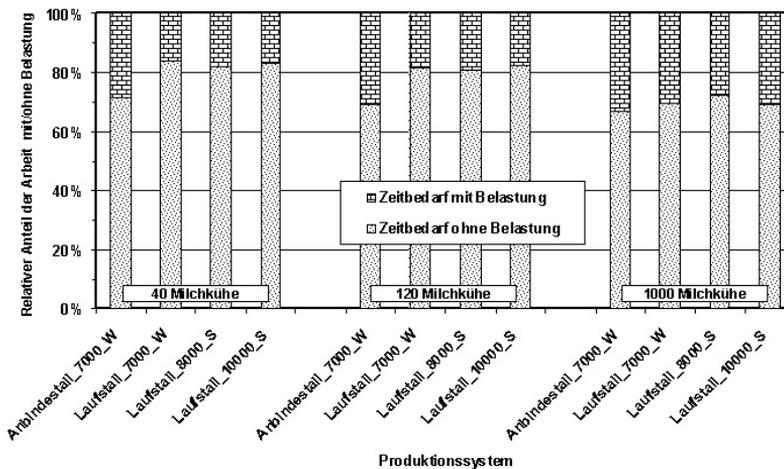


Abb. 3: Die körperliche Arbeitsbelastung lässt sich durch verfahrenstechnische Optimierungen bei grossen und sehr grossen Beständen nur bedingt reduzieren  
*In large or very large herds, physical work load can only be reduced partly by optimising technical processes*

## 5 Schlussfolgerungen

Zur Bestimmung des Arbeitszeitbedarfes und der Verringerung der Arbeitsbelastung sind die Verfahrensabläufe beim Melken und Füttern von grösster Bedeutung. Hinzu kommt zukünftig der steigende Anteil an zu erledigenden Managementtätigkeiten.

Die Arbeitsproduktivität eines Gesamtsystems kann durch verfahrenstechnische, und organisatorische Massnahmen verbessert werden. Die verfahrenstechnische Optimierung wirkt über die zunehmende Mechanisierung von Arbeitsabläufen Die organisatorische Optimierung wirkt über eine rationellere Arbeitsgestaltung mit einer verbesserten Arbeitsorganisation und Zeitplanung.

## **6 Literatur**

PINZKE, S. 1999. Towards the good work. Dissertation Swedish University of Agricultural Sciences. Agraria 155.

SCHICK, M. 2001. Modellierung von Arbeitszeitbedarf und Massenfluss am Beispiel verschiedener Melkverfahren. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Hohenheim; S. 260–265.

SCHICK, M.; RIEGEL, M. 2003. Arbeitsqualität in der Milchviehhaltung. Agrarforschung Nr. 10 (4), S. 155–157.

## **Moderne Managementstrategien zur Qualitätssicherung und deren Anwendung auf die Milcherzeugung wachsender Betriebe** *Modern Managementstrategies for quality assurance and their application on growing dairies*

**DANIEL HERD, HERMANN SEUFERT**

Institut für Landtechnik, Justus Liebig Universität Gießen, Gutfleischstraße 3, D-35390 Gießen

**Schlüsselwörter:** Management, Qualitätssicherung, Qualitätsmanagement Milchproduktion, Melkroutine  
**Keywords:** Management, quality assurance, quality management, milkproduction, milkingroutine

### **Zusammenfassung**

*Das Qualitätsmanagement einer Milchviehanlage ist eine bedeutende Voraussetzung, um der heute geforderten Prozessqualität zu genügen. QM-Milch (integriertes Qualitätssicherungssystem Milch) ist für Milchviehbetriebe nur der Anfang, denn in Zukunft werden Dokumentationen zur vollständigen Rückverfolgbarkeit der Produktion wichtiger für das Überleben von Betrieben sein. Doch kann die Rückverfolgbarkeit mit Zwang zur lückenlosen Dokumentation nur eingehalten werden, wenn dadurch die Milchproduktion effizienter und produktiver wird. Einsparpotenziale sind auf fast jedem Betrieb vorhanden und können auch durch ein Qualitätsmanagementsystem aufgedeckt werden. Zum Management gehören auch die Beschreibung des Arbeitsplatzes und die Festlegung der Arbeitsroutinen. Anhand einer Melkroutine wird der Melkablauf vordefiniert und Abweichungen im Produktionsprozess durch die Mitarbeiter vorgebeugt.*

### **Summary**

*Quality management for dairies is an important tool to fulfill process quality standards. QM-Milk (Integratet Quality Assurance System for Milk Production) is the 1st step for dairies towards a quality management system. The need to document a production process beyond the documentation of QM-Milk will become more important to sell milk in the future. A documentation system to trace products back can only be implemented on a dairy if working processes become more efficient. Quality management systems can make daires more efficient in producing their produkts. One part of dairy management is the description of an employees' working place and daily routines. A milking routine can define standards to employee procederes and can help to find weak parts in the production process.*

## 1 Einleitung

Unter dem anhaltenden Kostendruck schreitet der Strukturwandel in der Landwirtschaft und besonders im Milchsektor unaufhaltsam voran. Die Zahl aller landwirtschaftlichen Betriebe ging hierbei von 1995 bis 2003 um 29,3 % zurück, gleichzeitig stieg die durchschnittliche Flächenausstattung der Betriebe um 34,4 % in ha LF. Die Zahl der Milchkühe insgesamt ging von 1995 bis 2003 um 16,6 % zurück und gleichzeitig stieg die Anzahl der gehaltenen Kühe pro Betrieb. Die Milchleistung pro Kuh und Jahr im Zeitraum von 1995 bis 2002 konnte um 15,6 % gesteigert werden (STATISTISCHES BUNDESAMT 2004).

Diese Zahlen verdeutlichen den Trend zu größeren Betrieben mit einer höheren Flächenausstattung und im Bereich der Milchproduktion zu größeren Einheiten mit höherer Leistung.

Das Management steht im Mittelpunkt eines jeden Unternehmens und trägt die finanzielle, strategische und alltägliche Verantwortung. Besonders in wachsenden Milchviehbetrieben erhöhen sich die Anforderungen an das Qualitäts- und Hygienemanagement. Die Gesellschaft und die Politik sind sensibilisiert durch Skandale und Seuchenvorfälle in den letzten Jahren. Eine lückenlose Dokumentation in der Wertschöpfungskette nimmt aus diesem Grund einen höheren Stellenwert ein. Die geschaffenen Gesetze wie Produkthaftungsgesetz, VO (EG) 178/2002, Dünge-Verordnung, Futtermittelgesetz, Arzneimittelgesetz, Tierschutzgesetz und Tierseuchengesetz tragen hierzu bei.

## 2 Vorgehensweise und Zielsetzung

Ziel der Bemühungen ist die Ermittlung und Aufstellung der wichtigsten Parameter für eine qualitätsorientierte Milchproduktion. Die gesetzlichen Regelungen (MilchVO, MilchGüteVO) spielen in der Praxis zwar eine wichtige Rolle, doch im betrieblichen Alltag sind andere Kennzahlen wichtiger zur effektiven Produktionslenkung.

Ausgehend von der Industrie werden zu Beginn Qualitätsmanagementsysteme vorgestellt und deren Etablierung beschrieben.

Die Einflussgrößen auf die wichtigsten Betriebsparameter in der Milchproduktion sollen ermittelt und auf deren Umsetzungsmöglichkeiten hingewiesen werden. Dabei steht nicht alleine das Produkt Milch im Vordergrund, sondern der gesamte Produktionsprozess soll in die Qualitätssicherung mit einbezogen werden.

Dieser induktive Ansatz soll Anregungen zur Qualitätssicherung für wachsende Milchviehbetriebe geben.

## 3 Ergebnisse

In der Industrie haben sich Systeme zur Qualitätssicherung und zum Qualitätsmanagement schon in den vergangenen Jahrzehnten, wie z. B. ISO 9000:2000 ff., HACCP, IFS, TQM und GMP etablieren können.

In der Landwirtschaft haben dagegen flächendeckend noch keine Managementsysteme Verbreitung gefunden. Mit der Einführung von QM, integriertes Qualitätssicherungssystem Milch, wird hierzu der Weg geebnet. QM stellt ein „Lieferantenaudit“ der Molkereien dar und

kontrolliert die Einhaltung der wichtigsten gesetzlichen Rahmenbedingungen im Produktionsprozess; ein Qualitätsmanagementsystem geht aber weit über diese Anforderungen hinaus.

DIN ISO 8402 definiert als Qualitätsmanagement: „Alle Tätigkeiten der Gesamtführungsaufgabe, welche die Qualitätspolitik, Ziele und Verantwortungen festlegen sowie diese durch Mittel wie Qualitätsplanung, Qualitätslenkung, Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung im Rahmen des Qualitätsmanagementsystems verwirklichen.“

Qualitätsmanagement ist also nicht eine Aufgabe für wenige Spezialisten aus einer Sonderabteilung, sondern eine echte Führungsaufgabe.

Der Betriebsleiter sollte mit gutem Beispiel voran gehen und die getroffenen Maßnahmen mit voller Überzeugung umsetzen und deren Wichtigkeit jedem Mitarbeiter verdeutlichen.

Abbildung 1 stellt die verschiedenen Einflüsse von außen und von innen auf das Qualitätsmanagement eines Milchviehbetriebs dar.

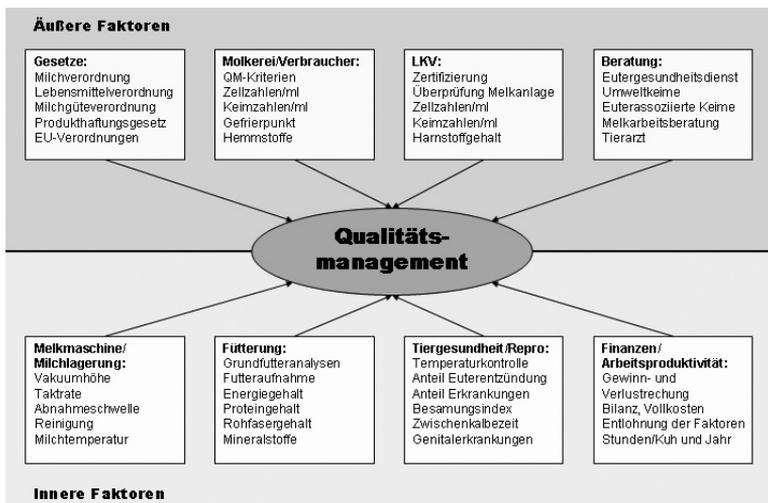


Abb. 1: Einflüsse auf das Betriebsmanagement in der Milchproduktion  
*Influences on Qualitymanagement for dairies*

Der Betriebsleiter steht im Mittelpunkt des Qualitätsmanagements und wird in seinen Entscheidungen, von außen durch Gesetze, Molkereien, Verbraucher, Landeskontrollverbände und Beratungsorganisationen beeinflusst.

Die Inneren Faktoren geben die Ist-Größen aus seinem Betrieb wider. Diese Größen bilden Daten von Melkmaschine, Milchlagerung, Fütterung, Tiergesundheit, Ökonomie und Arbeitsproduktivität. Abweichungen vom Soll kann der Betriebsleiter nach einem vorher definierten Prozess gegensteuern.

Das Hygienemanagement sollte in jedem Milchviehbetrieb ein Bestandteil des Qualitätsmanagements sein. Hygienemanagement wird folgendermaßen definiert:

„Alle Tätigkeiten und Maßnahmen, die zur Vorbeuge von Erkrankungen und des Wohlbefindens der Tiere dienen.“

Hierunter zählen vor allem die Maßnahmen im Melkbereich zur Verhinderung von Übertragungen kontagiösen Erregern, die Schaffung von trockenen, sauberen und unbelasteten Lie-

geflächen und das Füttern von qualitativ hochwertigem Grund- und Leistungsfutter (HAMANN, 2000).

Das Ziel eines jeden Unternehmens sollte es sein, ein qualitativ hochwertiges Produkt – die Milch – zu optimalen Kosten herstellen zu können. Diese Ziele sollten hinsichtlich der Qualität genau definiert sein.

### 3.1 Zieldefinition der Endproduktqualität und der Prozessqualität

In den untersuchten Milchviehbetrieben konnte keine systematische Zielbildung bezüglich Qualitätskriterien gefunden werden. Für eine kontrollierte Prozessleitung ist diese Definition aber unabdingbar.

Das Qualitätsziel für einen Milchviehbetrieb hinsichtlich der Milch wird in Tabelle 1 ersichtlich.

Tab. 1: Qualitätskriterien der Milch  
*Criteria for Milk Quality*

Keimzahl	10.000 Keime/ml
Zellzahl	< 150.000 Zellen/ml
Hemmstoff	keine
Fettgehalt	4,0–5,0 %
Proteingehalt	> 3,2 %
Harnstoffgehalt	150–300 mg/l
Gefrierpunkt	< –0,520 °C
Temperatur bei Abholung	> 4,0 °C < 6,0 °C
Staph. Aureus	< 500/ml
Strep. Agalactiae	< 10/0,1ml
Coliforme Keime	< 100 Keime/ml
Salmonellen	keine

Die aufgeführten Qualitätskriterien in den Hauptkennzahlen, Keimzahl und Zellzahl, sind deutlich niedriger gewählt als die gesetzlichen Regelungen dies fordern. Herauszuheben ist, dass diese Tabelle Grenzwerte angibt, bei deren Über- oder Unterschreiten ein vorher genau ausgearbeitetes und definiertes Behandlungs- oder Verfahrensschema abläuft. Steigt beispielsweise die Keimzahl über 10.000 Keime/ml, werden die Reinigung der Melkanlage, des Tanks und alle Gummiteile auf Verschleißerscheinungen kontrolliert und der Servicetechniker zu Rate gezogen.

Wichtig ist, dass bevor Abweichungen vom Soll auftreten, ein ausgearbeiteter Maßnahmenkatalog vorhanden ist, um professionell den Produktionsprozess lenken zu können.

Die Dokumentation dieser Maßnahmen ist für den späteren Lernprozess von großer Bedeutung. Tabelle 2 beschreibt die Zellzahlen der Herdensammelmilch als Kennzahlen zur Beurteilung der Eutergesundheit. Die Interpretation der Zellzahlen aus der Herdensammel-

milch, besonders in großen Herden, ist aber nur ungenügend, trotzdem kann man diesen Wert mit der Unterstützung von anderen Kennzahlen zur Bewertung und zur Einleitung von Maßnahmen benutzen.

Tab. 2: Zellgehalt der Herdensammelmilch als Monitor der Herdengesundheit (WOLTER et al., 2002)  
*Somatic Cell Count in Bulk Milk as an Indikator for Heard Health (WOLTER et al., 2002)*

Tankmilchzellzahlen Zellen/ml Milch	Kategorien der Eutergesundheit
< 125.000	gesund
126.000–250.000	verdächtig
> 250.000	krank

Das Ziel eines Betriebes sollte es nach sein < 125.000 Zellen/ml Milch in der Herdensammelmilch aufzuweisen (Tabelle 2). Diese Kennzahl; wird in den meisten Betrieben nicht zu erreichen sein. Trotzdem sollte ein Grenzwert von < 150.000 Zellen/ml Milch das Ziel einer Milchproduktion darstellen.

#### 4 Prozessleitung durch optimale Arbeitsorganisation

In Milchviehbetrieben ist oftmals keine gegliederte Arbeitsorganisation vorhanden, wonach die Abstimmung zwischen Arbeitskräften schwierig ist. Die Hierarchien unter den Arbeitnehmern sind oft nicht klar definiert, was zu einer erschwerten Mitarbeiterführung und mangelnder Motivation führen kann.

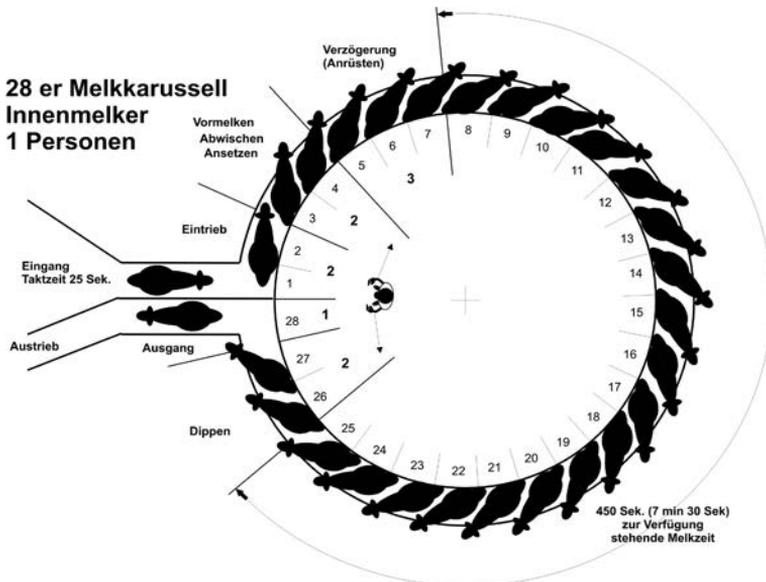


Abb. 2: Melkroutine im 28er Melkkarussell  
*Milking Routine in a 28 Rotary Parlor*

In Milchviehbetrieben werden bis zu 50 % der Arbeitszeit für das Melken verwendet. Es hat sich in den untersuchten Betrieben gezeigt, dass, trotz der hohen arbeitswirtschaftlichen Bedeutung des Melkens, keine festgelegten Melkroutinen durchgeführt werden, d. h. die Arbeitsabläufe beim Melken unterscheiden sich von Arbeitskraft zu Arbeitskraft und die Technik ist nicht optimal auf Mensch und Tier eingestellt.

Zur Optimierung des Melkvorgangs und auch zur Erleichterung der Dokumentation wird eine Melkroutine (Abbildung 2) entwickelt, nach der die Arbeitskräfte vorgehen müssen. Bei Abweichungen können die Mitarbeiter geschult und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Beispielhaft wird diese Melkroutine an einem 28er Melkkarussell mit einer Arbeitskraft dargestellt.

Die Definition von Arbeitsroutinen ist ein effizientes Hilfsmittel, Qualitätsziele zu erreichen und stellt ein gutes Managementgrundgerüst, das ständig weiterentwickelt werden sollte, dar.

## **5 Literatur**

HAMANN, J.; 2000: Hygienemanagement zur Sicherung der Milchbeschaffenheit unabdingbar. Milchpraxis, 38. Jg. (4) 2000. S. 204–207.

STATISTISCHES BUNDESAMT; 2004: Landwirtschaft 2003; erschienen im Januar 2004 vom Statistischen Bundesamt, Wiesbaden; URL: <http://www.destatis.de>.

WOLTER, W.; KLOPPERT, B.; CASTANEDA, H. V.; Zschöck, M. 2002: Die Mastitis des Rindes, Ein Kursbuch. Staatliches Untersuchungsamt Hessen.

## **Modell eines integrierten Audit- & Dokumentenmanagement-Systems im Rahmen der Qualitätssicherung in QS-Bündlerorganisationen** ***Model of an integrated audit- and document management-system in the context of quality assurance in QS coordination-organisations***

**ADRIANE MACK<sup>1</sup>, STEFANIE GYMNICH<sup>1</sup>, THOMAS SCHMITZ<sup>2</sup>, BRIGITTE PETERSEN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universität Bonn, IPBH, Abt. Präventives Gesundheitsmanagement, Katzenburgweg 7–9, D-53115 Bonn

<sup>2</sup> PLATO AG, Breite Straße 7–8, D-23552 Lübeck

**Schlüsselwörter:** Auditmanagement, Dokumentenmanagement, schweinefleischerzeugende Kette  
**Keywords:** *Auditmanagement, documentmanagement, pig production chain*

### ***Zusammenfassung***

*Standards und gesetzliche Regelungen fordern von den Unternehmen den Aufbau von kettenorientierten Qualitätsmanagementsystemen mit der Verpflichtung zur Eigenkontrolle. Dabei spielen Grundsätze des HACCP-Konzeptes einschließlich einer Dokumentationsverpflichtung der HACCP-bezogenen Maßnahmen eine entscheidende Rolle. Die Arbeit zeigt, wie sich mit Hilfe eines integrierten Audit- und Dokumentenmanagement-Systems, die überbetriebliche Koordination eines Eigenkontrollsystems in Schweinehaltenden Betrieben unterstützen und erleichtern lässt. Im Rahmen der Deutsch-Niederländischen Initiative GIQS (Grenzüberschreitende Integrierte Qualitätssicherung) wurde das integrierte softwaregestützte Audit- und Dokumentenmanagement-System an Aufgaben einer QS-Bündlerorganisation angepasst und im Piloteinsatz erprobt.*

### ***Summary***

*Standards and legal regulations request the development of chain-oriented quality management systems in the sense of self-control. Thereby the principles of HACCP concepts including a documentation obligation of the HACCP referred measures are decisive. This paper pointed at how the entire chain coordination with the help of an integrated audit- and document-management-system could be supported and facilitated. In the context of the German-Dutch initiative GIQS (trans-border quality assurance) the integrated software-based audit- and document-management-system were in the functions of QS coordination-organisations adapted and than tested in the pilot chains.*

## 1 Einleitung

Zu den Hauptmotiven für den Aufbau kettenorientierter Qualitätsmanagement-Systeme (QM-Systeme) von Unternehmen fleischerzeugender Ketten gehören Forderungen aufgrund nationaler oder internationaler Standards und gesetzlicher Regelungen. Der Vorschlag für die Neuordnung der Richtlinie 93/43/EWG sieht unter anderem den Nachweis der Verpflichtung zur Eigenkontrolle nach den Grundsätzen des Hazard Analysis and Critical Control Point Konzeptes (HACCP-Konzeptes) vor. Dieses legt das Augenmerk auf die Prozessqualität. Mit eingeschlossen ist die Verpflichtung zur Dokumentation der HACCP-bezogenen Maßnahmen. Zudem fordert der Verordnungsvorschlag allgemeine Hygienevorschriften für die Primärproduktion und sonstige Betriebsstätten (STÄHLE, 2004).

QM-Systeme sollten die Grundsätze des Hazard Analysis and Critical Control Point Konzeptes (HACCP-Konzept) einschließen. Hierzu gehört auch die Dokumentation der HACCP-bezogenen Maßnahmen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, stehen die Unternehmen der Agrar- und Ernährungswirtschaft vor der Herausforderung, die unterschiedlichen Auditstandards und Normen in einem integrierten Managementsystem umzusetzen und zu dokumentieren. Herausragende Ziele sind hierbei die Schaffung von Transparenz, schneller Verfügbarkeit und Aktualität sowie die Zuweisung von Verantwortlichkeiten und die damit einhergehende Reduzierung des Verwaltungsaufwands hinsichtlich der Dokumentenlenkung (MACK, 2004). Ein Informationsaustausch aller an der Produktion beteiligten Mitglieder der Wertschöpfungskette muss realisiert werden. Die effektive Umsetzung dieser Anforderungen ist nur mit Hilfe einer geeigneten Softwareunterstützung realisierbar.

Ziel des Verbundprojektes war es daher, ein Vorgehensmodell zu entwickeln und zu erproben, das mit Hilfe eines integrierten Audit- und Dokumentenmanagement-Systems QS-Bündlerorganisationen bei der Koordination überbetrieblicher QM-Aufgaben unterstützt.

## 2 Material und Methode

Im Rahmen einer Deutsch-Niederländischen Initiative GIQS (Grenzüberschreitende Integrierte Qualitätssicherung) wurde ein mehrstufiges Konzept zum Einsatz eines integrierten softwaregestützten Audit- und Dokumentenmanagement-Systems in QS-Bündlerorganisationen entwickelt und validiert. Als Softwaremodule standen die Produkte AUDIT und XERI der Firma PLATO AG zur Verfügung. Das Vorgehensmodell zur Implementierung eines überbetrieblichen Systems ist wie folgt gegliedert:

- Darstellung des bestehenden Systems in den Bereichen Audit- und Dokumentenmanagement,
- Stärken- und Schwächenanalyse des bestehenden Systems,
- Darstellung des geplanten Auditmanagement- und Dokumentenmanagementsystems.

Somit wurden die unterschiedlichen Auditarten und die Schritte des Auditmanagements festgelegt, um alle Auditinformationen in einer Datenbank bündeln zu können. Der Kettenkoordinator bedient sich dieses strukturierten Aufbaus, um auf überbetrieblicher Ebene Auditpläne zu erstellen, die Auditdurchführung zu planen sowie die Maßnahmenverfolgung entlang der Wertschöpfungskette einzuleiten. Alle dabei entstehenden Dokumente werden im Dokumentenmanagementsystem erstellt, verwaltet und verteilt, welches somit die zentrale Dokumentenplattform bildet.

### 3 Ergebnisse

Das Prinzip des entwickelten Vorgehensmodells wird am Beispiel der Auditart „Audit im landwirtschaftlichen Betrieb“ näher erläutert. Eine Projektarbeitsgruppe beschäftigt sich mit den in der QS-Bündlerorganisation halbjährlich von den produktionstechnischen Beratern oder Tierärzten durchgeführten Bestandschecks in den Betrieben. Die dabei verwendete Basischeckliste (Niveau 1 SOP), die die Komplexe

- Impfprogramm,
- Endo- und Ektoparasitenbekämpfung sowie
- Gesundheits- und Produktionsstatus

umfasst, hat den Charakter eines internen Audits. Die Auswertung und Analyse der erfassten Daten erfolgt durch eine Datenbank mit Ausgabe eines Zertifikates mit Ampelsystem. Treten hier spezifische Probleme („rote Ampel“) auf – d. h. „eine Tiergruppe ist auffällig“ – kommen detaillierte Checklisten (Niveau 2 SOP) zur Schwachstellenanalyse zum Einsatz, die wiederum spezifische Maßnahmen anstoßen. Die Checklisten umfassen Fragen zu den Komplexen

- Diagnostik, Verfahren, Tiergesundheit sowie
- Produktionstechnik.

Sie werden durch das Auditmanagement-System über definierte Zugriffsrechte durch die Kettenakteure verwaltet. Das Checklistenmodell dient der Ursachenforschung und eröffnet die Möglichkeit zur Durchführung einer präventiven und problemorientierten Beratung (Abbildung 1).

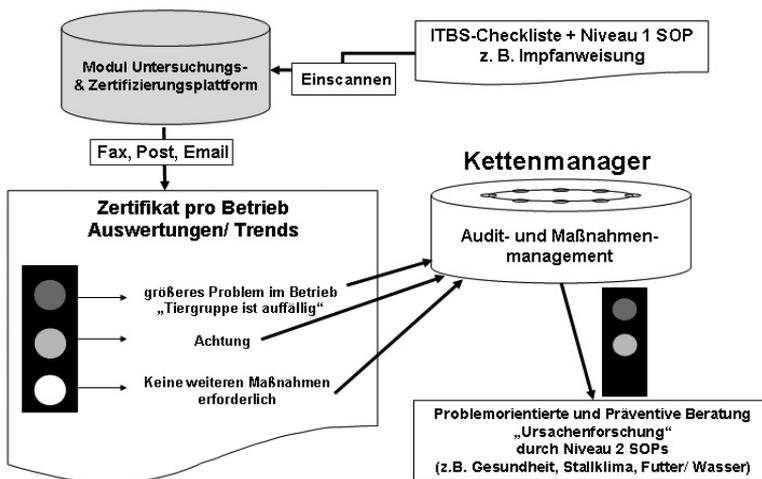


Abb. 1: Werkzeuge zur Unterstützung des Audit- und präventiven Gesundheitsmanagement  
*Software tools supporting auditing and "Herd Health Management"*

Die bei der Durchführung der internen Audits entstehenden Dokumente, wie z. B. die ausgefüllten Basischecklisten werden wiederum in das Dokumentenmanagement-System einge-

pfllegt und verwaltet. Die Integration externer Kettenakteure in den Prozess der Dokumentenlenkung ist über definierte Zugriffsrechte per Internet möglich (Abbildung 2).

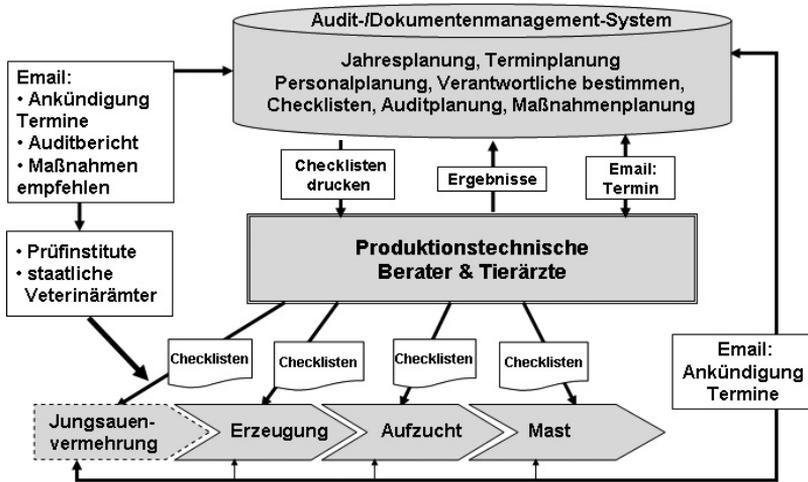


Abb. 2: Verknüpfung von Audit- und Dokumentenmanagementsoftware im Rahmen der Koordinationsaufgaben von QS-Bündlern  
 Linkage of audit- and document-management-software in the context of coordination tasks of QS-coordination

#### 4 Ausblick

Durch den Einsatz des Audit- und Dokumentenmanagement-Systems wird die Umsetzung eines Eigenkontrollsystems erleichtert. Das entwickelte Vorgehensmodell sieht eine zentrale Datenbank vor, mit deren Unterstützung eine prozessübergreifende Erfassung, zentrale Dokumentation und Auswertung aller Qualitätsdaten erreicht wird (PFEIFFER, 2001). Somit kann im Rahmen der Wertschöpfungskette eine höhere Qualität durch Fehlerverhütung, Optimierung der Prozessabläufe sowie durch mehr Eigenverantwortlichkeit auch auf der Seite des Landwirts erreicht werden (LEHNERT, 1998). Die in der Literatur geforderte Ausrichtung der Beratung auf Qualitätssicherung wird durch das Auditmanagement-System unterstützt (LEHNERT, 1994; PETERSEN, 1994). Ein schneller und effizienter Informationsaustausch zwischen den Bestandsbetreuenden Parteien und den Produktionsstufen in der Kette wird ermöglicht (PETERSEN, 1999; PETERSEN, 2002).

Durch den Einsatz des Audit- und Dokumentenmanagement-Systems wird die Umsetzung eines Eigenkontrollsystems erleichtert. Damit dienen die Unterstützungswerkzeuge gleichzeitig dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess.

## 5 Literatur

- LEHNERT, S. (1994): DIN/ISO 9000ff zur Unterstützung der Eigeninitiative der Wirtschaft beim Aufbau von QM-Systemen, in: Controlling und Qualitätsmanagement in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, FCL-Schriftenreihe Band 1, S.67–80, 1994, Landwirtschaftsverlag Münster.
- LEHNERT, S. (1998): Aufbau von Qualitätsmanagement-Systemen in landwirtschaftlichen Betrieben am Beispiel der Fleischproduktion, in: FCL- Schriftenreihe Band 6, 1. Auflage, Landwirtschaftsverlag Münster, 1998.
- MACK, A.; SCHMITZ, T.; PETERSEN, B. (2004); Gestaltung eines integrierten Audit- & Dokumentenmanagement-Systems für den Einsatz in QS-Bündlerorganisationen, in: Integration und Datensicherheit – Anforderungen, Konflikte und Perspektiven, Proceedings der 25. GIL Jahrestagung. 08.–10. September 2004, Bonn, S.
- PETERSEN, B. (1994): Controlling und Qualitätsmanagement – Aufgabe in der kundenorientierten Agrar- und Ernährungswirtschaft, in: Controlling und Qualitätsmanagement in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, FCL-Schriftenreihe Band 1, S.47–58, 1994, Landwirtschaftsverlag Münster.
- PETERSEN, B. (1999): Sicherung der regionalen Vermarktung von Ferkeln für nordrhein-westfälische, Qualitätsfleischprogramme durch Einführung überbetrieblicher Gesundheitsmanagement- und Frühwarnsysteme, in: Forschungsberichte des Lehr- und Forschungsschwerpunktes Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft, Heft 72, 1999 Universität Bonn.
- PETERSEN, B.; KNURA-DESZCZKA, S.; PÖNSGEN-SCHMIDT, E.; GYMNICH, S. (2002): Computerised food safety monitoring in animal production, *Livestock Production Sciences* 76, 207–213.
- PFEIFER, T. (2001): Qualitätsmanagement: Strategien – Methoden – Techniken in: 3., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 2001.
- RICHTLINIE 93/43/EWG des Rates über Lebensmittelhygiene vom 14. Juni 1993.
- STÄHLE, S. (2004): in: Behr's Jahrbuch für die Lebensmittelwirtschaft, BEHR'S Verlag.



# Informationsmanagement für die Qualitätssicherung in der Futterernte und -konservierung

## *Information management system for quality assurance for wilting silage*

ANDREA WAGNER, WOLFGANG BÜSCHER

Institut für Landtechnik, Universität Bonn, Nussalle 5, D-53115 Bonn

**Schlüsselwörter:** Silage, Qualitätssicherung, Informationsmanagement  
**Keywords:** *Silage, quality assurance, informationmanagement*

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen des Silomanagements wird den Betriebsleitern zu einem Controlling bei Silage geraten. Dabei sollen Qualitätsanalysen, Dichte- und Temperaturmessungen zur Beurteilung der eigenen Konservierungsarbeit durchgeführt werden (SPIEKERS 2004). Als Ergänzung dazu könnte ein System zur Steuerung der Qualität in der Gesamtkette, von der Ernte bis zur Fütterung, eine Anpassung der Maßnahmen an die gewünschte Qualität ermöglichen. Dazu werden in einem Informationsmanagement-System Untersuchungsergebnisse mit verfahrenstechnischen Maßnahmen verknüpft, die zur „qualitätsrelevanten“ Entscheidungsfindung genutzt werden können.*

*Ziel der Untersuchung ist die Erarbeitung eines Informationsmanagement-Systems für die Prozesskette „Anweilensilage“, das ausgehend von der Zielgröße „Langzeitstabilität“ über kritische Lenkungspunkte unter Berücksichtigung der Inhaltsstoffe des Ausgangsmaterials zu Qualitätssichernden Maßnahmen führt.*

### **Summary**

*With the continuing tendency of farms to rely on silage throughout the year, problems with quality loss due to secondary fermentation have become more numerous. This problem may be assumed to be caused by a lack of information concerning measures of quality assurance to be taken during the peak period of harvest and fodder conservation.*

*The aim of the present investigations is to develop an information management system for wilting silage. Starting from the target figure “long-term-stability”, this system is intended to point to measures of quality assurance by considering the material composition of the fresh forage and monitoring critical control points in the ensiling process. Investigations concerning the influence of chopping, compaction and feed-out technique on parameters relating to “long-term-stability” shall make it possible to conclude from the desired feed quality on the technology to be used and to define the quality relevance of each step in the process of forage harvesting and conservation.*

*Thus, farmers will in the future be able to regulate quality-relevant chains of decisions by means of appropriate mechanization and forage conservation.*

## 1 Problemstellung

Aktuelle Untersuchungen in der Praxis weisen auf zunehmende Probleme mit Nacherwärmung von Silagen hin (SPIEKERS et al. 2003). Aufgrund der Steigerung der Durchsatzleistung und Schlagkraft von Erntemaschinen sind beim Abtransport des Erntegutes weiter anwachsende Massenströme am Silo zu bewältigen, die eine sorgfältige Verdichtung des Erntegutes erschweren. Der Trend in der Praxis zur ganzjährigen Stallhaltung von Milchkühen verstärkt das Problem dadurch, dass der Silostock über einen längeren Zeitraum – auch über den Sommer – geöffnet ist und somit dem Risiko aerober thermophiler Prozesse ausgesetzt ist. Folglich ist eine ‚Langzeitstabilität‘ (Haltbarkeit bei gleich bleibender Qualität) der Silagen erforderlich.

Precision Farming im Sinne der Dokumentation von Produktionsprozessen im Ackerbau zur Abstimmung von Bedarf und angestrebter Qualität hat bereits Einzug in die praktische Landwirtschaft gehalten. Im Futterbau beruht die Silagequalität auf Faustzahlen und Erfahrungswerten. Zur Prozesssteuerung werden für den Betriebsleiter seitens der öffentlichen Beratung Orientierungswerte (SOLLWERTE) für die Trockensubstanz, die theoretische Schnittlänge, die Dichte und den Vorschub angegeben. Informationen über das erreichte IST und eine daraus eventuell erforderliche Nachsteuerung würden die Möglichkeit der operativen Handlungsweise innerhalb des Verfahrens schon während der Ernte bieten (Regelung des Prozesses). Voraussetzung für eine solche Regelung ist die Kenntnis der Vernetzung der kritischen Lenkungspunkte.

Ziel der Untersuchung ist die Erarbeitung eines Informationsmanagement-Systems zur Regelung des Prozesses der Anwelksilagebereitung, das ausgehend von der Zielgröße „Langzeitstabilität“ über kritische Lenkungspunkte unter Berücksichtigung der Inhaltsstoffe des Ausgangsmaterials zu Qualitätssichernden Maßnahmen (Verfahren der Futterernte und -konservierung) führt.

## 2 Methoden

Um den Einfluss der Entscheidung auf den jeweils nächsten Schritt im Ernte- und Konservierungsprozess in seiner Vernetzung transparent zu machen, werden Untersuchungen zu Qualitätsrelevanten Einflussfaktoren durchgeführt. Dazu werden Experimente mit standardisierten Einflussgrößen, entsprechend der Skala der Entscheidungsfindung (nominal, z. B. Sorte A oder B; ordinal, z. B. Schnittlänge, Verdichtung, Vorschub) angelegt. Bereits vorhandene Ergebnisse zum Einfluss von Maßnahmen im Ernte- und Konservierungsprozess werden der Literatur entnommen. Durch einen Rückfluss an Informationen zu den einzelnen Prozessstufen sollen Entscheidungen für die nächste Ernteperiode in das dynamische System adaptiert werden.

Im Entscheidungsprozess steht der kritische Lenkungspunkt ‚Trockensubstanzgehalt‘ (TS-Gehalt) in unmittelbarem zeitlichen Zusammenhang mit der Zerkleinerung durch die Futterbergetechnik. Der optimale Anwelkgrad wird mit 30 bis 40 % angegeben, mit der Empfehlung, dass nur kurz geschnittenes oder gehäckseltes Futter sich gut und nachhaltig verdichten lässt. Im Folgenden werden Untersuchungen zum Einfluss der Schnittlänge und des TS-Gehalts auf die Verdichtbarkeit von Gras Anwelkgut vorgestellt. Dazu wurde im Mai 2004 auf dem Versuchsgut Frankenforst der Universität Bonn ein Rotorladewagen mit 33 Messern eingesetzt. Die kleinste theoretische Schnittlänge ( $L_{th}$ ) beträgt 4,5 cm. Die Bergung

des Materials erfolgte an zwei unterschiedlichen Zeitpunkten am Tag, jeweils mit halbem und mit ganzem Messersatz, so dass im TS-Gehalt des Ernteguts eine Differenz von 9 %-Punkten erreicht wurde.

Zur Beurteilung der Zerkleinerung des Anwelkgutes wurden 50 g Frischmasse mit Hilfe eines Zählbretts in verschiedene Fraktionen aufgeteilt (DLG Prüfrahmen für Aufsammelpresen) und anschließend in die prozentualen Gewichtsanteile umgerechnet. Pro Variante wurden vier Wiederholungen durchgeführt.

Die Verdichtbarkeit wurde mit einer Materialprüfmaschine untersucht. Dazu wird das Anwelkgut lose in einen Kunststoffzylinder mit einer Höhe von 30 cm eingefüllt und über einen Stempel mit einer Geschwindigkeit von 90 mm/min verdichtet. Die Höhe des Zylinders entspricht der Schichtdicke von 30 cm auf dem Flachsilo, die nach der offiziellen Beratung in der Praxis empfohlen wird.

Bei der Verdichtung mit der Materialprüfmaschine kann ein maximaler Druck von 0,45 MPa erreicht werden. Typische Belastungen im Silo liegen bei 0,2 MPa. Die Kraft zur Verdichtung des Materials wird über einen Kraftaufnehmer kontinuierlich gemessen, über den Weg aufgezeichnet (Kraft-Weg-Diagramme). Zur Auswertung der Untersuchung wurden Druck-Dichte-Diagramme erstellt. Zusätzlich zur maximalen Verdichtbarkeit wurde auch die Rückfederung des Materials in die Betrachtung mit einbezogen. Dazu wurde nach der Verdichtung und einer Minute Wartezeit die Füllhöhe im Zylinder gemessen. Pro Variante wurden 6 Wiederholungen durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

Die Untersuchung stellt den Vergleich der Futterbergung mit Ladewagen bei halbem ( $L_{th} = 9$  cm) und bei vollem Messersatz ( $L_{th} = 4,5$  cm) dar. Zur Silierung wird beim Gras eine Schnittlänge von  $< 4$  cm empfohlen (THAYSEN et al. 2002). Die Ergebnisse zur Schnittlängenverteilung zeigen, dass die theoretische Schnittlänge von 4,5 mm zu einem Massenanteil von 53 % in der Klasse kleiner 8 cm führt (Tab. 1).

Deutliche Unterschiede zwischen den Varianten sind in den Fraktionen  $4 \geq x < 8$  cm und  $16 \geq x < 24$  cm festzustellen.

Tab. 1: Schnittlängenverteilung bei vollem und halbem Messersatz des Ladewagens

Massenanteil [%] bei theoretischer Schnittlänge	Halmlängen-Klassen [cm]					
	$x < 4$	$4 \geq x < 8$	$8 \geq x < 16$	$16 \geq x < 24$	$24 \geq x < 48$	$x \geq 48$
4,5 cm	6,7	46,8	34,6	8,9	3,0	0,0
9 cm	4,8	28,7	36,7	20,8	9,0	0,0

Nach FRICK (2001) sollte der Anteil an kurz geschnittenem Gut (bis doppelte theoretische Schnittlänge) möglichst hoch und der Anteil an „überlangem“ Material (über 4,5fache theoretische Schnittlänge) möglichst klein sein. Mindestens 50 % des gewogenen Schnittgutes sollen eine Länge unter der dreifachen theoretischen Schnittlänge haben. Bei einer theoretischen Schnittlänge des Rotorladewagens von 4,5 cm liegt diese theoretische Grenze bei 13,5 cm. Ein Massenanteil von  $> 50$  % wird bereits in den Fraktionen  $< 8$  cm bei ganzem

Messersatz erreicht. Bei halbem Messersatz wird in den Fraktionen <16 cm ein Massenanteil von > 50 % erreicht.

Das Ergebnis der Verdichtungsmessung von Anwelkgut unterschiedlicher Schnittlänge bzw. TS-Gehalts ist in Form eines Druck-Dichte-Diagramms in Abb. 1 dargestellt. Bezogen auf die Frischmasse zeigen die Ergebnisse die höchste Verdichtbarkeit für die Varianten mit einem TS-Gehalt von 33 % auf. Der Unterschied zwischen den Schnittlängen 4,5 bzw. 9 cm ist dabei gering. Bei Umrechnung auf die Trockenmassedichte (TM-Dichte) erfolgt eine Angleichung der Varianten, da die vergleichsweise geringere Dichte bei hohem TS-Gehalt durch den daraus folgenden geringeren Wassergehalt kompensiert wird.

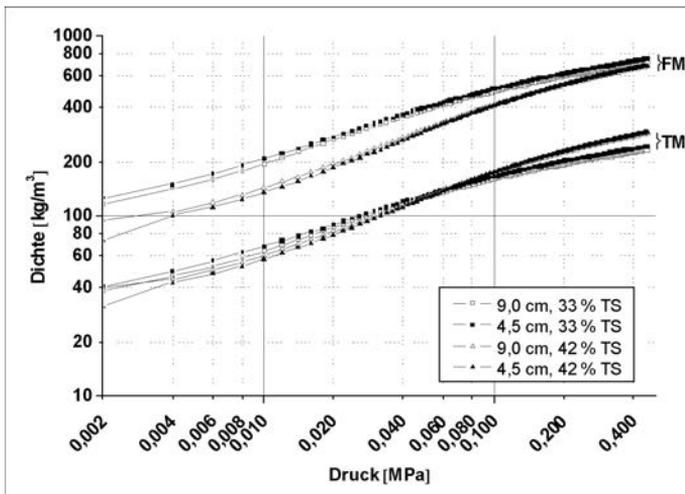


Abb. 1: Einfluss von TS-Gehalt und Schnittlänge auf die Verdichtbarkeit von Gras-Anwelkgut

Ein Druck von 0,2 MPa, der in der öffentlichen Beratung empfohlen wird, verdichtet das Material mit einem TS-Gehalt von 33 % und einer Schnittlänge von 9 mm auf  $193 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$ . Im Vergleich dazu weist das Material mit einer Schnittlänge von 4,5 mm eine um  $8 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$  höhere Dichte auf.

Die Dichte von Erntegut, das mit TS-Gehalt von 42 % aufgenommen, zerkleinert und mit einem Druck von 0,2 MPa verdichtet wurde, beträgt für beide Schnittlängen  $227 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$ .

Im Anschluss an die Verdichtung mit einem Druck von 0,45 MPa wurde eine Minute nach Entlastung des Anwelkgutes die Rückfederung des Materials durch Ablesen des Füllstands ermittelt. Die Dichte des Ernteguts mit einem TS-Gehalt von 33 % (Durchschnitt  $237 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$ ) im Vergleich zum stärker angewelkten Material (Durchschnitt  $289 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$ ) unterscheidet sich um ca. 18 % (Abb. 2). Die Dichte nach Rückfederung des Materials liegt zwischen  $115 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$  (33 % TS, 9 mm) und  $130 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$  (42 % TS, beide Schnittlängen) (mittlerer Fehler von 10 %). Eine einmalige, statische Verdichtung und die nachfolgende Rückfederung des Materials führen somit zur Reduzierung der Dichte um 50 % bei allen Varianten.

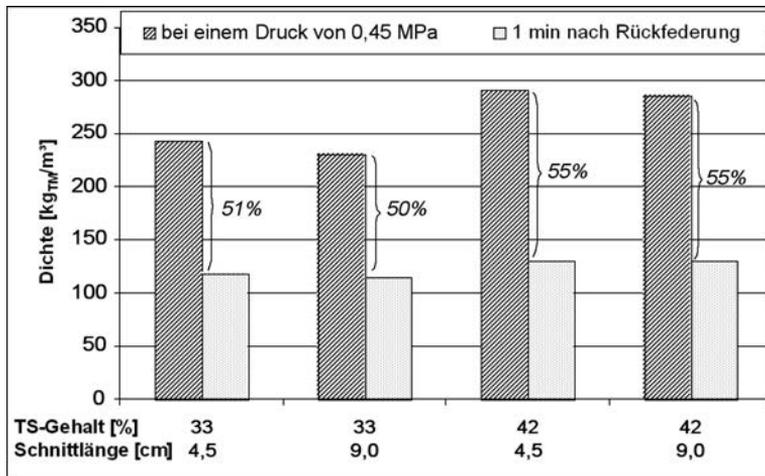


Abb. 2: Einfluss von TS-Gehalt und Schnittlänge auf die Rückfederung von Gras-Anwelkgut

## 4 Diskussion

Die Ergebnisse der Verdichtungskurven können aufgrund der einmaligen, statischen Verdichtungstechnik mit dem Stempel der Materialprüfmaschine zwar nicht als direkter Vergleich zur Praxis herangezogen werden, dennoch sind die materialbedingten Unterschiede in der Verdichtbarkeit bzw. Rückfederung untereinander vergleichbar. Die Reduzierung des 3-Stoff-Systems (Halmgut, Wasser, Luft) auf ein 2-Stoff-System Halmgut und Wasser führt zu Unterschieden zwischen den Schnittlängen, die als gering einzustufen sind.

Bei einem hohen TS-Gehalt ist der Schnittlängeneinfluss geringer als bei einem niedrigeren TS-Gehalt. Die Tendenz steigt mit zunehmendem Druck. Ein hoher TS-Gehalt (42 %) führt aufgrund des geringeren Wassergehalts und der höheren Dichte des porenfreien Halmgutes (WOLF-REGETT 1989) im Vergleich zu Wasser zu höheren Trockenmassedichten als ein geringerer TS-Gehalt (33 %).

Nach Empfehlung der öffentlichen Beratung liegt der Soll-Wert für die Dichte von Gras Anwelkgut bei einem TS-Gehalt von 20 % bei  $160 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$ , bei einem TS-Gehalt von 40 % erhöht sich der Richtwert auf  $240 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{m}^3$  (THAYSEN et al. 2002). Aufgrund der Rückfederung des Materials nach Entlastung wird die Dichte um 50 % auf Werte unterhalb dieses SOLL reduziert. Ähnliche Ergebnisse wurden in einem Häcksellängenversuch für Silomais festgestellt (WAGNER et al. 2001). Die Unterschiede zwischen den Schnittlängen sind tendenziell auch nach Rückfederung geringer als die Unterschiede zwischen den TS-Gehalten. Methodisch ist die Ablesemethode zur Ermittlung der Rückfederung im Falle von Gras (10 %) mit einem höheren Fehler behaftet als bei Silomais (3 %), hier sind Optimierungen erforderlich.

Die Ergebnisse stellen die Vernetzung der Einflussgrößen TS-Gehalt und Schnittlänge in Zusammenhang mit der Verdichtbarkeit heraus. Innerhalb der Spanne des TS-Gehalts von 33 bis 42% ist die Entscheidung für eine Schnittlänge von 4,5 cm im Vergleich zu 9 cm von geringem Einfluss auf die erzielbare Verdichtung. Der Anwelkggrad des Schnittgutes scheint im Entscheidungsprozess größeren Einfluss auf die Konservierungsfähigkeit zu haben als die Schnittlänge bzw. die Zerkleinerungstechnik.

## 5 Ausblick

Eine Transparenz von Qualitätsbestimmenden Einflussfaktoren für die Silage liefert die Datenbasis für die Regelung der Ernte-, Konservierungs- sowie Entnahmeprozesse und schafft auf Betriebsleiter-Ebene die Möglichkeit, Qualitätsmanagement schon bei der Planung zu berücksichtigen. Während der Ernte soll zielgerichtet die erforderliche Technik zur Futterbergung, die entsprechende Konservierungsform und Verdichtung gewählt werden. Voraussetzung dazu ist, dass die benötigte Technik disponibel und, dass die Messung an den Lenkungspunkten während der Ernte technisch möglich sind. Während Informationen über Masse und TS-Gehalt schon während der Ernte erfasst werden können, wird an einer Analyse des Ernteguts auf organische Inhaltsstoffe zurzeit gearbeitet (HEINRICH, BERNHARDT 2000). Ebenso wichtig ist jedoch auch das Know-how des Betriebsleiters. Das Informationsmanagement-System dient somit als Planungs- und Bewertungsinstrument und soll zu einer Reduzierung der Arbeitsbelastung des Unternehmers führen. Dieser steht in der Ernteperiode unter hohem Entscheidungsdruck zum optimalen Technikeinsatz, wobei auf nahezu allen Ebenen Zusammenhänge zur späteren Futterqualität bestehen.

## 6 Literatur

- FRICK, R. (2001): Lade- und Erntewagen, FAT-Bericht Nr. 576, FAT-Tänikon.
- HEINRICH, A.; BERNHARDT,, G. (2000): Qualitätskontrolle in der Erntetechnik. Landtechnik 57, 4/2002, S. 200–201.
- SPIEKERS, H.;; MILTNER, R.; BEEKER, W. (2003): Nacherwärmung gefährdet besten Silomais. Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen Lippe 33, S. 18–19.
- SPIEKERS, H. (2004): Controlling am Silo. Dlg-test.de, Ausgabe 2/04, S. 21.
- THAYSEN, J. et al. (2002): Futterkonservierung. Hrsg. Nordwestdeutsche Landwirtschaftskammern. 6. Ausgabe, Oldenburg.
- WAGNER, A.;; LEURS, K.; BÜSCHER, W. (2004): Einfluss der Häcksellänge auf Verdichtbarkeit, Silierung und Nacherwärmung von Silomais. Agrartechnische Forschung 10 (2004) Heft 4, S. 54–61.
- WOLF-REGETT, K.-P. (1989): Verdichtung und Expansion von Halmgut in Normaldruck-Ballenpressen. Fortschr.-Ber. VDI-Reihe 14 Nr. 41, Düsseldorf. VDI-Verlag. ISBN 3-18-144114-7.

## Freiland-Legehennenhaltung in großen Herden: Interaktion zwischen Auslaufnutzung und Exkrementmenge und -verteilung im Auslauf *Free-range layers in large flocks: Interaction of use of the outdoor run and excrement load and -spatial distribution*

ULRIKE ELBE<sup>1</sup>, ANTJE ROSS<sup>1</sup>, GÜNTER STEFFENS<sup>1</sup>, HERMAN VAN DEN WEGHE<sup>2</sup>,  
CHRISTOPH WINCKLER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Fachbereich 3.17, D-26121 Oldenburg

<sup>2</sup> Forschungszentrum für Veredelungswirtschaft, Universität Göttingen, D-49377 Vechta

<sup>3</sup> Institut für Nutztierwissenschaften/Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, A-1180 Wien

**Schlüsselwörter:** Legehennen, Freiland, Auslauf, Verhalten, Nährstoffeintrag

**Keywords:** *Laying hens, free-range, behaviour, excrement load, nutrient accumulation*

### Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war es, den Nährstoffanfall im Auslauf von Freiland-Legehennen durch die Erfassung sowohl der Ausscheidungen im Auslauf wie der Auslaufnutzung der Hennen quantifizieren zu können. Dazu wurde die Anzahl Hennen (Herdengröße: 4500 Tiere) im Auslauf erfasst (Digitalfotografie, Scan-sampling-Intervall 10 min, 5 h/d, 23 d, 7–10/2003). Rasenschutzgitterreihen in 2, 6 und 17 m Entfernung vom Stall gewährleisteten die Erfassung der Ausscheidungen (Anzahl u. Gewicht).

Durchschnittlich nutzten 9,8 % der Hennen den Auslauf, 69 % davon bevorzugten den stallnahen Bereich (0–17 m). Insgesamt fielen rund 5 % der gesamten Ausscheidungen der Herde im Auslauf an. Der berechnete Nährstoffanfall fiel im Nahbereich sehr hoch, im restlichen Auslaufbereich sehr gering, im Mittel der gesamten Auslaufläche in Höhe des zulässigen Düngungsniveaus aus. Bodenschutzmaßnahmen im stallnahen Bereich erscheinen sinnvoll.

### Summary

The aim of this study was to examine the excrement load in outdoor ranges due to the outdoor run use of free-range laying hens to quantify the accumulation of nutrients in the soil. The number of hens using the run (flock of 4,500 hens) were recorded (digital photographs; scan sampling interval 10 min, 5 hours/d, 23 d; 7 to 10/2003) and sward protection grids, positioned at different distances (2, 6, 17 m) from the barn were used to get the amount of excreta (number and weight of droppings).

On average 9.8 % of the hens used the range out of which 69 % preferred the area close to the barn (0–17 m). Excretion rates per hen amounted to 1.3–6.0 g \* hour, thus accounting for a share of 5 % of the total excrements of the flock. The calculated amount of nitrogen in the soil reached a very high level in the area close to the barn, but with regard to the entire outdoor area only usual fertilisation level. Preventive measures to protect the soil close to the barn are recommended.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Zur Zeit werden in Deutschland 3,7 Mio. Legehennen (8,6 % des Gesamtbestands) in Freilandhaltung gehalten (Betriebe > 3.000 Hennen; ZMP, 2003), der Durchschnittsbestand pro Betrieb liegt bei 15.800 Hennen.

Das Auslaufverhalten von Hennen in großen Herden unterscheidet sich bekanntermaßen erheblich von dem kleiner Herden (z. B. HIRT, 2001), so dass die Aufenthaltshäufigkeiten der Hennen in bestimmten Auslaufabschnitten sowie standortspezifische Einflüsse auf das Auslaufverhalten bei verschiedenen Herdengrößen ein Gegenstand der vorliegenden Untersuchung waren (Projekt „Optimierung der Freilandhaltung von Legehennen in der Praxis“, gefördert durch EU und Land Niedersachsen). Darüber hinaus besteht bei dieser Haltungform die Problematik erhöhter Nährstoffeinträge (N, P, K) in den Boden und damit eine potentielle Grundwassergefährdung, insbesondere in Stallnähe. Aufgrund der begrenzten Aussagekraft von Bodenanalysen (z. B. Vorbelastungen, Bodentypen) war es weiteres Ziel dieser Untersuchungen, den tatsächlichen Anfall an Exkrementen im Auslauf zu erfassen, um einen Zusammenhang zwischen Auslaufverhalten, Exkrementen und Nährstoffaustrag herstellen zu können.

## 2 Material und Methoden

Die untersuchte Herde (4500 Hennen, Linie LT) wurde in einem Stallabteil (12 x 70 m) mit Kotgrube, A-Reutern, Innenscharraum und Kaltscharraum (3,25 m breit) nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus gehalten. Der Zugang zum Auslauf erfolgte im Kaltscharraum durch acht auf die Stallbreite verteilte Klappen (á 143 x 43 cm), die von ca. 9 Uhr bis Sonnenuntergang geöffnet waren. Der Auslauf wurde zu einer Seite durch die Zufahrt zum Stall und in 54 m Entfernung zum Stall durch einen Weg (Abzäunung) begrenzt. Als weitere Auslauffläche standen die Flächen neben und hinter dem Stall zur Verfügung. Maße und Strukturierung sind Abbildung 1 zu entnehmen.

Der Auslauf wurde in Entfernungsabschnitte unterteilt (0–6; 6–17; 17–54 m). Die Erfassung der Hennen im Auslauf erfolgte von einem Hochsitz in 25 m Entfernung zum Stall (5,2 m Höhe) mittels manuell erstellter Digitalaufnahmen (Scan-sampling-Intervall 10 min). Im Zeitraum Juli bis Oktober 2003 wurden 23 Beobachtungseinheiten zu jeweils 5 Stunden von 11 bis 16 Uhr bzw. 16 Uhr bis Sonnenuntergang durchgeführt. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgte mit einer dafür speziell entwickelten Software (Chickencount).

Für die Erfassung der Exkremente im Auslauf wurden sogenannte Rasenschutzgitter (2 x 1 m, Rahmenhöhe: 8 cm, Maschenweite 2,5 x 2,5 cm; Fa. Wiemer, Velbert) in drei Entfernungen zum Stall (2, 6, 17 m) über die gesamte Auslaufbreite verlegt. Jeweils 9 einzelne Rasenschutzgitter pro Entfernung dienten dabei als Probenahmefläche (vgl. Abb. 1). Nach einer Beobachtungseinheit wurden die einzelnen Exkrementhaufen unter den Gittern eingesammelt und Anzahl und Gewicht erfasst. Die Analyse erfolgte nach VDLUFA-Standardmethoden.

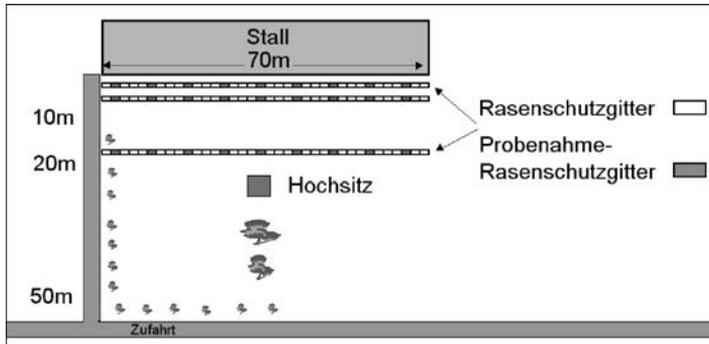


Abb. 1: Stall und Auslaufläche der untersuchten Freilandhaltung

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Auslaufnutzung

Von den insgesamt 4500 Hennen der untersuchten Herde hielten sich im Durchschnitt 9,8 % (442 Hennen) im Auslauf auf. Aus weiteren eigenen Untersuchungen (z. B. bei 1.450 Hennen: 40 % der Herde im Auslauf) sowie aus der Literatur ist das Phänomen der abnehmenden Auslaufnutzung bei zunehmender Herdengröße bekannt (z. B. HIRT, 2001). Als Ursachen werden Faktoren des Stallmanagements (z. B. später Zugang zum Auslauf, fehlendes Tageslicht in der Aufzucht) sowie des Stallbaus (Größe bzw. Innenaufbau etc.) diskutiert, die allerdings nicht Gegenstand dieser Untersuchung waren.

Die Verteilung der Hennen auf der Auslaufläche gestaltete sich sehr unterschiedlich. Der stallnahe Bereich von 0–6 m wurde von 45 % der Hennen (196 Tiere auf 387 m<sup>2</sup>) als schutzgebender Bereich erwartungsgemäß sehr stark frequentiert. Im darauffolgenden Abschnitt von 6–17 m hielten sich die Hennen mit 24 % (108 Tiere auf 602 m<sup>2</sup>) deutlich weniger häufig auf. Der Bereich von 17–54 m wurde von 31 % der Hennen (138 Tiere auf 2144 m<sup>2</sup>) recht stark aufgesucht, da sich hier die meisten Strukturierungen (Büsche, geschlegeltes Gras, Zaun) befanden. Vernachlässigbar gering fiel die Nutzung der neben und hinter dem Stall liegenden Auslaufläche aus, so dass diese Bereiche nicht in die Berechnungen eingingen. Die Tiere frequentierten in den Nachmittags- und Abendstunden (ab 16 Uhr) den Auslauf leicht stärker als am Vormittag (11,2% vs. 9,4 %), flüchteten weniger häufig in den Stall, verhielten sich also „bereichstreuer“ (Var.koeff.: 15 % vs. 29 %) und entfernten sich weiter vom Stall (17–54 m: 3,4 % vs. 2,8 %). Dagegen blieb der Anteil Hennen im stallnahen Bereich (0–2 m) während des Tagesverlaufes nahezu konstant.

#### 3.2 Exkrementinhaltsstoffe und -gewicht

Der erfasste Frischkot auf den Probenahmeflächen wies eine Nährstoffkonzentration bezogen auf die Trockensubstanz (Originalsubstanz: im Mittel 34,5 % TS) von 48,6 kg/t N; 30,5 kg/t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 17,9 kg/t K<sub>2</sub>O auf. Abweichungen zu Standardwerten ergaben sich fütterungsbedingt (Öko-Futter) sowie durch Unterschiede im Erfassungsort bzw. Lagerbedingungen

(N-Verluste). Das Gewicht pro Kothaufen betrug im Mittel 4,7 g ( $s = 1,45$ ;  $n = 505$ ), wobei keine Vergleichswerte zum Haufengewicht in der Literatur gefunden werden konnten.

### 3.3 Interaktion zwischen Auslaufnutzung und Exkrementmenge bzw. -verteilung

Es ist festzustellen, dass die Anzahl Hennen pro  $m^2$  (Besatzdichte) sowie – in relativ guter Übereinstimmung – die gefundene Kotmenge pro  $m^2$  mit zunehmender Entfernung zum Stall deutlich abnahmen (vgl. Abb. 2). Leichte Über- bzw. Unterschätzungen im Verhältnis von Tierzahl zu gefundenem Kot lassen sich mit dem unterschiedlichen Tierverhalten in den entsprechenden Bereichen sowie durch Messungenauigkeiten erklären. Eine Beeinflussung des Tierverhaltens durch die Anwesenheit der Rasenschutzgitter läßt sich aus der gleichbleibenden Verteilung nicht ableiten (vgl. Abb. 2; z. B. C1–9 zu C).

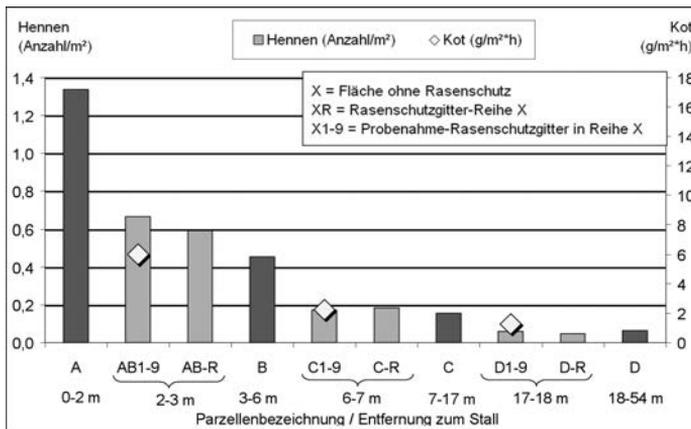


Abb. 2: Auslaufnutzung (Anzahl Hennen/m<sup>2</sup>) und Kotmenge (g/m<sup>2</sup>\*h) in verschiedenen Entfernungen zum Stall

Im Mittel wurden 12,4 g Kot pro Huhn und Stunde im Auslauf gefunden. Laut Literaturangaben (u. a. BESSEI, 1998) scheiden Legehennen 160–180 g Kot pro Tag bzw. 7,1 g Kot pro Stunde (in 24 h) aus. Die Differenz zum Versuchswert kann sich aus verschiedenen Faktoren ergeben: Zum einen stammen die Literaturstandardwerte aus der Käfighaltung mit geringerem Futterbedarf (z. B. 115 g Futter/Tag = 160 g Kot/Tag) mit konventionellen Futtermitteln (ökolog. Futter: oft höhere Rohfasergehalte → höhere Kotmengen; PÖTTER, 2003), zum anderen ist die Verteilung der Kottausscheidung über 24 h nicht klar bezifferbar bzw. Hinweise sprechen von einem nachts deutlich geringeren Kotabsatz.

Auf Basis der ermittelten 12,4 g Kot ergeben sich bei 10 Stunden Auslaufdauer/Tag und 259 Auslauftagen/Jahr von den im Mittel erfassten 442 Hennen 14,2 t Kot im Auslauf. Im Verhältnis zum Gesamtkotanfall der Herde, der bei 4.500 Hennen und 365 Tagen ca. 312 t beträgt (189,2 g Kot/Henne und Tag bei ermittelten 136 g Futter/Tag), fielen somit rund 5 % des gesamten Kotes im Auslauf an (bei Auslaufnutzung von 10 % der Herde). MEIERHANS et al. (1996) fanden bei einer Herdengröße von 400 Hennen und ca. 60 % Auslaufnutzung einen Anteil von 20 % des insgesamt pro Tag ausgeschiedenen Kotes im Auslauf wieder.

### 3.4 Kalkulation des Nährstoffanfalls auf der Auslauffläche

Ausgehend von der ermittelten Menge Kot pro m<sup>2</sup> und Stunde ergibt sich für den stallnahen Bereich (bis zu 17 m vom Stall entfernt, ca. 5,4 % der gesamten Auslauffläche, vgl. Tabelle 1) ein sehr hoher Nährstoffanfall. Im stallfernen Bereich (ca. 82,8 % der gesamten Auslauffläche) ist dagegen kaum noch mit nennenswerten Nährstoffeinträgen durch die Hennen zu rechnen. Bei gleichmäßiger Verteilung der Hennen über die gesamte Auslauffläche und Nutzung des gesamten Grasaufwuchses würden sich Nährstoffmengen in zulässiger Düngungshöhe ergeben (172 kg/ha N, vgl. Tabelle 1). In Untersuchungen von z. B. ZORN et al. (2004), MEIERHANS et al. (1996), MENKE und PAFFRATH (1996) wurden ebenfalls hohe Nährstoffanreicherungen überwiegend in stallnahen bzw. stark genutzten Auslaufbereichen festgestellt.

Tab. 1: Kalkulation des N-Anfalls in verschiedenen Entfernungsabschnitten zum Stall

Abschnitte	Abschnittsfläche (m <sup>2</sup> )	Abschnittsanteile (%)	Exkrememente <sup>5</sup> (g/m <sup>2</sup> * h)	N-Anfall <sup>5, 6</sup> (kg/Abschnitt)	N-Anfall <sup>5, 6</sup> (kg/ha)	Abschnittsfläche (ha)
0–2 m	131	0,7 %	12,0 <sup>1</sup>	68	2086	0,01
2–6 m	256	1,4 %	6,0 <sup>2</sup>	66	1043	0,03
6–17 m	602	3,3 %	2,2 <sup>3</sup>	58	382	0,06
17–54 m	2.144	11,8 %	1,3 <sup>4</sup>	121	225	0,2
54–260 m	15.067	82,8 %	–	0 <sup>7</sup>	0 <sup>7</sup>	1,5
0–260 m <sup>8</sup>	18.200	100 %	–	313	172	1,8

<sup>1</sup> Geschätzt: doppelte Menge von 2–6 m, Probenahme Entfernung zum Stall: <sup>2</sup> 2–3 m, <sup>3</sup> 6–7 m, <sup>4</sup> 17–18 m

<sup>5</sup> 442 Hennen im Auslauf (10 % der Herde), <sup>6</sup> Frischkot TS-Gehalt: 34,5 %, N-Gehalt 1,68 % abzgl. 60 % gasförmige Verluste, N-Anfall auf Fläche ohne Berücksichtigung der natürlichen N-Deposition

<sup>7</sup> Annahme: N-Eintrag durch Hennen sehr gering, N-Bedarf der Vegetation so hoch wie N-Eintrag

<sup>8</sup> Annahme: Auslaufmaß: 70m (Stalllänge) x 260 m (Auslauftiefe) = 1,8 ha (4m<sup>2</sup>/Henne)

## 4 Schlussfolgerungen

Bei der Freilandhaltung von Legehennen kommt es durch die ungleichmäßige Verteilung der Hennen auf einem kleinen Anteil der Auslauffläche (insbesondere im stallnahen Bereich) zu hohem Exkrement- bzw. Nährstoffaufkommen. Es handelt sich dabei um eine punktuelle Belastung; nicht um eine flächenhafte Belastung. Diese Aussage wird auch in anderen Untersuchungen bestätigt (ZORN et al., 2004).

In der vorliegenden Untersuchung würde auch bei verbesserter Auslaufgestaltung (Schutz- und Strukturelemente) und Managementverbesserungen der Nahbereich aufgrund seiner Mehrfachfunktion als Ein- u. Ausgangsbereich sowie Hauptschutzgeber immer stark frequentiert bleiben. Ausgehend vom punktuellen Nährstoffanfall wären Maßnahmen zum Schutz des Bodens im stallnahen Bereich (vgl. ELBE et al., 2003) sinnvoll, ausgehend von der Gesamtfläche ergibt sich nicht notwendigerweise ein Handlungsbedarf.

## 5 Literatur

BESSEL, W.; DAMME, K. (1998): Neue Verfahren für die Legehennenhaltung. Darmstadt: KTBL, KTBL-Schrift 378, 7–45.

ELBE, U.; ROSS, A.; STEFFENS, G. (2003): Simulation des Nährstoffrückhalte-vermögens verschiedener Abdeckmaterialien im Stallnahbereich von Hühnerausläufen im Lysimeterversuch. In: 6. Int. Tagung Bau, Technik u. Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 25/27.3.03, Vechta. Darmstadt: KTBL, 70–75. ISBN 3-7843-2151-8.

HIRT, H. (2001): Influence of group size on the behaviour and welfare of laying hens. In: OESTER, H.; WYSS, C. (eds), Proceedings of the 6th European Symposium on Poultry Welfare held in Zollikofen, Switzerland, September 2001. Berne, 41–43. ISBN 3-9522303-0-8.

MEIERHANS, D.; WIDMER, H.; MENZI, H. (1996): Kotbelastung des Auslaufes bei der Freilandhaltung von Legehennen. In: Petersen, J., Zentralverband der Deutschen Geflügelwirtschaft e.V. (eds), Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft 1996. Stuttgart: Eugen Ulmer, 43–47.

MENKE, A., PAFFRATH, A. (1996): Freilandhaltung von Legehennen: Artgerechte Tierhaltung ökologisch bedenklich? DGS-Magazin (6): 11–14.

MUSSLICK, M., REICHARDT, W., GAYER, P., HOCHBERG, H. (2004): Auslaufnutzung. In: Alternative Legehennenhaltung, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8–9. Jahrgang 2004, 123–137.

PÖTTER, C. (2003): Einsatz von Möhrentrester in der Legehennenfütterung im Vergleich zu konventionellen Alleinfuttermitteln mit bzw. ohne künstlichem  $\beta$ -Carotin. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

Zentrale Markt- und Preisstelle (ZMP) (2004): Öko-Markt-Jahrbuch 2004, Bonn.

ZORN, W., LIPPMANN, J., GAYER, P., SCHRÖTER, H., REICHARDT, W. (2004): Nährstoffeintrag in den Boden. In: Alternative Legehennenhaltung, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8–9. Jahrgang 2004, 139–151.

## Ermittlung der Geruchsbelastung und -belästigung im Umfeld von Schweineställen

### *Investigations into the odour impact and nuisance in the vicinity of pig farms*

EVA GALLMANN, EBERHARD HARTUNG, THOMAS JUNGBLUTH

Institut für Agrartechnik (440), Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart

**Schlüsselwörter:** Geruchsimmission, Geruchsemission, Geruchsbelastung, Geruchsbelästigung  
**Keywords:** *Odour impact, Odour Emission, odour nuisance*

### **Zusammenfassung**

Ziel des Forschungsvorhabens ist die systematische Ermittlung der Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen Geruchsbelastung und -belästigung durch landwirtschaftliche Gerüche. Der methodische Ansatz beinhaltet eine Kombination aus Rasterbegehungen, Wind- und Emissionsmessungen sowie Ausbreitungsrechnungen zur Ermittlung der Geruchsbelastung sowie die Durchführung von Anwohnerbelästigungsbefragungen. In diesem Beitrag wird primär auf die Untersuchungen in Baden-Württemberg an vier Projektstandorten mit inhaltlichem Schwerpunkt auf den Ergebnissen der Rasterbegehungen sowie Emissionsmessungen eingegangen.

In Abhängigkeit vom Projektstandort mit unterschiedlicher Dichte und Lage von für die Region typischen kleineren Tierhaltungen, ergab sich eine gleichmäßige Abstufung der Geruchsbelastung auf den verschiedenen Beurteilungsflächen von 0 % über 10 %, 20 %, 30 %, 40 % bis rund 50 % der Jahresstunden mit Extremwerten bis zu 80 %. Die Stichprobenemissionsmessungen ergaben differenziert nach Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Mastschweine mit der Literatur vergleichbare mittlere Geruchsemissionsfaktoren. Die Streuung der Werte betrug mindestens das zweifache des Mittelwertes.

### **Summary**

A systematic investigation of the relations between odour impact and odour nuisance here for the case of livestock husbandry is the overall aim of the study. To cover the problem a comprehensive approach combining field inspections, emission measurements, dispersion modelling and questioning of the residents has been chosen. This paper describes in more detail the results on the odour impact (field grid measurements) at four project sites with mainly pig husbandry which are typical for south Germany in the federal state of Baden-Württemberg. Further more results of spot emission measurements are described.

Depending on the density and location of here typically smaller stables the odour impact varied graduated between 0 % to 10 %, 20 %, 30 %, 40 % to 50 % of the hours of a year with in an extreme case 80 %. The spot emission measurements resulted differentiated for sows, piglets and fattener in odour emission factors comparable to literature. The values scattered of the scale of twofold the mean value.

## 1 Einleitung und Problemstellung

Die Ermittlung und Bewertung von Geruchsimmissionen bedingt durch landwirtschaftliche Tierhaltung führt immer wieder zu Konflikten zwischen Landwirten, Behörden und Anwohnern. Dabei spielen unterschiedliche Einschätzungen der Erheblichkeit oder des Belästigungspotentials bzw. der Zumutbarkeit oder Ortsüblichkeit landwirtschaftlicher Gerüche eine Rolle. Im Zuge dessen wird diskutiert, inwieweit vorhandene Regelwerke den speziellen Gegebenheiten in der Landwirtschaft gerecht werden oder ob diese unter Umständen entsprechend modifiziert werden sollten.

## 2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens ist deshalb die systematische Ermittlung der Geruchsbelastung und -belästigung (Dosis-Wirkungsbeziehungen) durch landwirtschaftliche Gerüche. Im Rahmen eines Verbundprojektes der Länder Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen und Nordrhein-Westfalen werden die unterschiedlichen Tierarten Rind, Schwein und Geflügel betrachtet und regionale Besonderheiten oder Unterschiede berücksichtigt [1]. In diesem Beitrag wird primär auf die Untersuchungen in Baden-Württemberg mit inhaltlichem Schwerpunkt auf der Geruchsbelastung eingegangen, die zunächst die speziellen Bedingungen in der baden-württembergischen Schweineproduktion abbilden sollen.

## 3 Vorgehensweise

Für die Untersuchungen in Baden-Württemberg wurden vier Ortschaften ausgesucht, mit unterschiedlicher Nähe und Anzahl von vornehmlich Schweinehaltungen zur Anwohnerschaft. Tabelle 1 und Tabelle 2 fassen die wichtigsten Gegebenheiten an den ausgewählten Projektstandorten zusammen.

Tab. 1: Kurzbeschreibung der Gegebenheiten in den Regionen bzw. Kreisen, in denen die vier Projektstandorte angesiedelt sind

*Short description of the given facts in the regions where the four project sites are located*

Region/Kreis Projektstandort	Hohenlohekreis Nr. 1 und Nr. 2	Ostalbkreis Nr. 3	Enzkreis Nr. 4
Jahresmitteltemperatur [°C]	7,8	7,4	8,6
Anzahl von Betrieben mit Schweinehaltung (2001)	1721	1002	128
Durchschnittliche Anzahl von Tieren pro Betrieb mit Schweine- haltung (2001)	276 Schweine 66 Sauen 80 Mastschweine	130 Schweine 62 Sauen 33 Mastschweine	61 Schweine 24 Sauen 43 Mastschweine

Quellen: Statistisches Landesamt und Ämter für Landwirtschaft (2003)

Im Landesdurchschnitt Baden-Württemberg wurden im Jahre 2001 pro Betrieb 121 Schweine bzw. 50 Sauen oder 47 Mastschweine gehalten. Die Regionen Hohenlohe und Ostalb gelten als typische Veredelungsregionen in Baden-Württemberg. Die Region Enzkreis hingegen ist durch einen starken Rückgang der Landwirtschaft bzw. einer Ausweitung von städtischer Strukturen sowie Industrie und Gewerbe geprägt.

Tab. 2: Kurzbeschreibung der Gegebenheiten in den Ortschaften und an den jeweils ausgewählten Untersuchungsbetrieben der vier Projektstandorte

*Short description of the given facts at the four project sites and selected pig farms*

Projektstandort	Nr. 1 Hohenlohe	Nr. 2 Hohenlohe	Nr. 3 Ostalb	Nr. 4 Enzkreis
Anzahl tierhaltende Betriebe ca.	12	9	8	2
Anzahl Stallgebäude ca.	10	9	35	2
Anzahl Tiere im Ort ca.	320 Sauen 1100 Mastschweine 18000 Puten 40 Rinder 75 Schafe 10 Pferde	440 Sauen 320 Mastschweine 20 Rinder 6 Pferde	700 Sauen 1100 Ferkel 300 Mastschweine 180 Rinder	500 Mastschweine 100 Rinder
Anzahl Einwohner ca. Gesamt:	1000	2500	600	8500
Beurteilungsgebiet:	400	400	400	400
Tierbestand des ausgewählten Untersuchungsbetriebes ca.	140 Sauen & Ferkelaufzucht	120 Sauen & Ferkelaufzucht	200 Sauen & Ferkelaufzucht	500 Mastschweine

Quellen: Ämter für Landwirtschaft, Angaben der Landwirte, eigene Erhebungen, Landratsämter

An jedem Projektstandort wird folgendes Untersuchungsprogramm durchgeführt, um den Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen Geruchsbelastung und -belästigung systematisch nachgehen zu können:

Für die Ermittlung der Geruchsbelastung:

- Mindestens 104 Rasterbegehungen über mind. 12 Monate nach VDI 3940 [2] bzw. Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) [3] zur Erfassung der Geruchshäufigkeit mit Beurteilung der Geruchsintensität und Hedonik der erkannten landwirtschaftlichen Gerüche. Die verschiedenen Geruchsarten (z. B. Tierart, Silage oder Flüssigmist) werden differenziert erfasst.
- Fünf Stichprobenmessungen der Geruchsemissionen über das Jahr verteilt an je einem ausgewählten Untersuchungsbetrieb pro Ortschaft (vgl. Tab. 2).
- Kontinuierliche Windmessungen über den gesamten Messzeitraum zur Erstellung einer standortspezifischen Windrichtungs- und -geschwindigkeitsverteilung.
- Ausbreitungsrechnungen.

Für die Ermittlung der Geruchsbelästigung:

- Durchführung von Anwohner-Belästigungsbefragungen (persönliche Interviews) in Anlehnung an VDI 3883 [4] in den ermittelten unterschiedlichen Belastungszonen.

Die Projektteile Ausbreitungsrechnungen sowie Belästigungsbefragungen befinden sich bis Frühsommer 2005 in Bearbeitung. Die Rasterbegehungen, Emissions- und Windmessungen wurden im Oktober 2004 abgeschlossen, die Gegenstand der folgenden Darstellung ausgewählter Ergebnisse sein werden. Die abschließenden Ergebnisse zu den Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen Geruchsbelastung und -belästigung werden im Sommer 2005 zur Verfügung stehen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Rasterbegehungen

An allen Projektstandorten war die Geruchsart „Schwein“ dominierend unter den Tierhaltungsgerüchen bzw. landwirtschaftlichen Gerüchen mit einem Anteil von in der Regel 60 % bis 100 % auf den verschiedenen Beurteilungsf lächen. Die Verteilung der Geruchsbelastung in % der Jahresstunden auf die Beurteilungsf lächen an den jeweiligen Projektstandorten mit Skizzierung der Lage von Tierhaltungen und der Windrichtungsverteilung zeigt für die Geruchsart „Schwein“ Abbildung 1.

Die Abgrenzbarkeit zu und die Störeinflüsse von Gerüchen aus anderen Quellen (z. B. Wäscherei, Mosterei, Farbmusterkartenhersteller,) sowie von der Flüssigmistausbringung waren mit einer Geruchsbelastung von maximalen 7 % auf einzelnen Beurteilungsf lächen sehr gering.

An den Projektstandorten Nr. 1 und Nr. 2 zeichnet sich eine gute Abstufung der Geruchsbelastung über die Beurteilungsf lächen für die Geruchsart „Schwein“ von 0 % bis 35 % bzw. 42 % sowie zusammengefasst für alle Gerüche aus der Tierhaltung bzw. Landwirtschaft von 0 % bis 39 % bzw. 46 % der Jahresstunden ab. Aufgrund der hohen Dichte von tierhaltenden Betrieben am Projektstandort Nr. 3 (Ostalb) wurden keine Beurteilungsf lächen mit geringen Geruchshäufigkeiten ermittelt. Es liegt eine Abstufung der Geruchsbelastung für die Geruchsart „Schwein“ von 17 % bis 70 % sowie zusammengefasst für alle Gerüche aus der Tierhaltung bzw. Landwirtschaft von 21 % bis 81 % der Jahresstunden vor. Die Ergebnisse entsprechen den Erwartungen an diesen Projektstandort, der bewusst in das Projekt aufgenommen wurde, um Daten zur Belästigungsreaktion auch aus einem hoch belasteten Gebiet, jedoch mit typisch dörflicher Struktur zu erhalten. Für den Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) mit einer eher städtisch geprägten Wohnstruktur und wenig Landwirtschaft hingegen zeigt sich wie vermutet eine geringere Geruchsbelastung. Für die Geruchsart „Schwein“ sowie für die Tierhaltung bzw. Landwirtschaft insgesamt zeigt sich zwar eine Abstufung der Geruchsbelastung von 0 % bis 41 % der Jahresstunden, jedoch überwiegt der Anteil der Beurteilungsf lächen mit Werten kleiner 15 % deutlich.

Bei der Beurteilung der Intensität sowie Hedonik der Schweinegerüche durch die Probanden bestanden geringe Unterschiede in Abhängigkeit von dem jeweiligen Projektstandort. Mehrheitlich mit zusammengefasst für alle Standorte von etwa 70 % bis 80 % der Beurteilungen (n = 1115) wurde der durchschnittliche Eindruck „Schwein“ mit sehr schwach bis schwach sowie neutral bis leicht unangenehm beschrieben. Die starken Intensitätsstufen bzw.

mehr unangenehmen Hedonikstufen wurden nur für 20 % bis 30 % der Geruchsereignisse genannt.

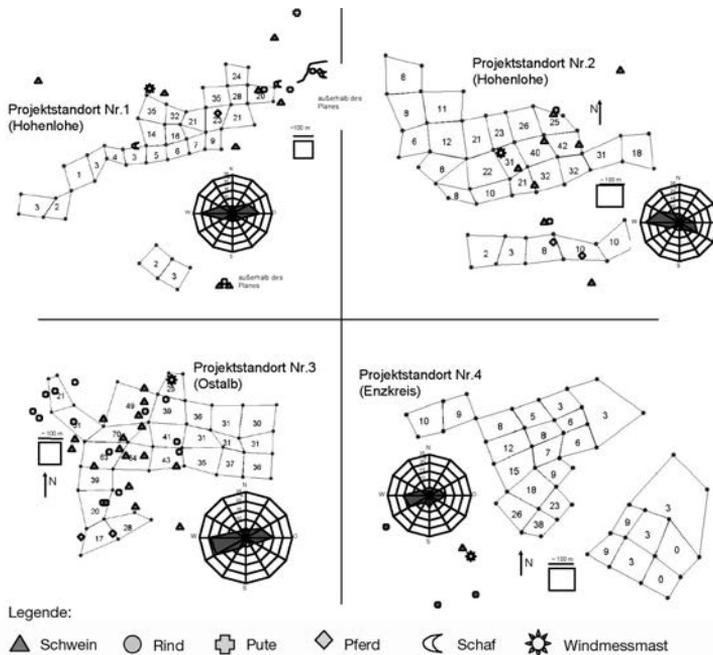


Abb. 1: Geruchsbelastung „Schwein“ in % der Jahresstunden an den vier Projektstandorten nach 117 Begehungen im Messzeitraum 16.05.03-14.09.04 (Nr. 1 und Nr. 2) bzw. 106/108 Begehungen im Messzeitraum 08.08.03-26.10.04 (Nr. 3 und Nr. 4)

*Pig odour impact expressed as % of the hours of a year at the four project sites after 117 measurements in the period of time 16.05.03-14.09.04 (no. 1 and no. 2) respectively 106/108 measurements in the period of time 08.08.03-26.10.04 (no. 3 and no. 4)*

## 4.2 Emissionsmessungen

An je einem Tag innerhalb eines zweiwöchigen Zeitraumes Ende Januar/Anfang Februar, Mitte/Ende März, Ende Mai/Anfang Juni, Ende Juli sowie Anfang Oktober 2004 wurden Emissionsmessungen an je einem ausgewählten Untersuchungsbetrieb (meist bestehend aus mehreren abgeschlossenen Ställen) pro Projektstandort als kurzzeitige Stichprobenmessungen im Sinne von Momentaufnahmen durchgeführt. Abbildung 2 fasst die Ergebnisse zusammen.

Die Stichprobenmessungen ergeben für die Sauenhaltung einen geringen mittleren Geruchsemissionsfaktor von  $31 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ , gefolgt von der Mastschweinehaltung mit im Mittel  $58 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$  und der Ferkelaufzucht mit einem deutlich höheren Mittelwert von  $117 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ . Dabei beträgt die Streuung der Werte mindestens das zweifache des Mittelwertes. Obwohl die Datenbasis der Stichprobenmessungen recht gering ist, decken sich die eigenen Ergebnisse gut mit den Angaben zu mittleren Geruchsemissionsfaktoren aus der Literatur (Sauenhaltung  $19$  bis  $22 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ ; Ferkelaufzucht  $75 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ ; Mastschweine  $50 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ ) [5; 6].

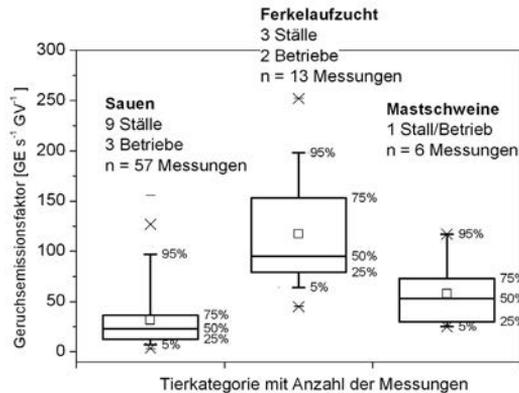


Abb. 2: Geruchsemissionsfaktoren, die anhand mehrmaliger (im Normalfall fünf) Stichprobenmessungen an vier Untersuchungsbetrieben mit verschiedenen Stallteilen ermittelt wurden  
*Odour emission factors resulting from several (in a normal case five) spot measurements at four pig farms consisting of several small stables*

## 5 Fazit und Ausblick

Der methodische Ansatz ermöglicht die systematische Untersuchung der Dosis-Wirkungszusammenhänge zwischen Geruchsbelastung und -belästigung durch landwirtschaftliche Gerüche. Anhand dieser fundierte Datenbasis können die Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Methoden zur Immissionsbeurteilung erörtert und unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit sowie Aussagekraft notwendiger Eingangsdaten für die Genehmigungspraxis beurteilt werden.

## 6 Literatur

- [1] BOTH R. (2004): Projektskizze: Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft. Landtechnik 59 (3), S. 164–165.
- [2] VDI Richtlinie 3940 (1993): Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehungen. (Hrsg.) Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [3] GIRL (Geruchsimmissions-Richtlinie) (1998): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie in der Fassung vom 13. Mai 1998 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 07. Mai 1999.
- [4] VDI Richtlinie 3883 Blatt 1 (1997): Wirkung und Bewertung von Gerüchen. Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung. Fragebogentechnik. (Hrsg.) Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [5] MARTINEC, M.; Hartung, E.; JUNGBLUTH, T. (1998): Daten zur Geruchsemission aus der Tierhaltung. KTBL-Arbeitspapier 260, Darmstadt.
- [6] UBA (2002): Beste verfügbare Technik in der Intensivtierhaltung (Schweine- und Geflügelhaltung). UBA-Texte 75/02, Forschungsbericht 360 08 001, Umweltbundesamt Berlin, ISSN 0722-186X.

## Stand der Verfahrenstechnik und Kosten der Abluftreinigung in der Nutztierhaltung

### *State-of-the-art of waste air purification systems for application in animal husbandry*

EWALD GRIMM<sup>1</sup>, FELIX SCHIER<sup>2</sup>, WOLFGANG BÜSCHER<sup>2</sup>, EBERHARD HARTUNG<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), D-64289 Darmstadt

<sup>2</sup> Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nußallee 5, D-53115 Bonn

<sup>3</sup> Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Garbenstr. 9, D-70599 Stuttgart

**Schlüsselwörter:** Abluftreinigung, Stand der Technik, Kosten

**Keywords:** Waste air purification systems, state-of-the-art, costs

### **Zusammenfassung**

*Abluftreinigungsanlagen gehören nicht zum Stand der Technik der emissionsarmen Tierhaltung. Sie werden eingesetzt, um schädliche Umweltwirkungen zu verhindern, wenn Mindestabstände zu Wohnhäusern oder zum Wald nicht eingehalten werden und alle Maßnahmen zur Emissionsminderung ausgeschöpft sind.*

*Es stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die sich insbesondere im Hinblick auf das Reinigungsprinzip, den Einsatzbereich, das Reinigungsziel (Geruch, Ammoniak, Staub) und den Wirkungsgrad sowie die Kosten unterscheiden.*

### **Summary**

*Waste air purification systems are not state-of-the-art of low-emission animal husbandries. They are applied in order to prevent harmful environmental effects, if set-back distances towards residential houses or forests are not kept and all measures to reduce emissions have been taken. Systems available differ with respect to the purification principle, the range of use, the cleaning objective (odour, ammonia, dust), the cleaning efficiency and the costs.*

## 1 Einleitung

Das Reinigen der Stallabluft ist aufwändig und teuer. In der Schweinemast ist mit zusätzlichen Baukosten in Höhe von 60 € für den Mastplatz zu rechnen. Daher werden Abluftreinigungsanlagen in der Regel nur dann eingesetzt, wenn ein Vorhaben sonst nicht genehmigungsfähig wäre.

Häufig ist die einzige Alternative zur Abluftreinigung den neuen Stall an einem anderen Standort zu bauen. Die Kosten der Standorterschließung können jedoch die Kosten für eine Abluftreinigung am alten Standort bei weitem überschreiten. Zudem sind vielerorts entwicklungsfähige Standorte im Außenbereich knapp oder nicht mehr vorhanden.

In einigen viehdichten Regionen Niedersachsens, in denen die Betriebe stark wachsen, ist die Abluftreinigung inzwischen oft das einzige Mittel, um vorhandene Betriebsstandorte weiter zu entwickeln und die Produktion zu erhöhen.

Im Rahmen eines KTBL-Projektes wurden Planungsdaten der derzeit auf dem Markt angebotenen Anlagentypen gesammelt und verglichen sowie Kosten abgeschätzt.

## 2 Verfügbare Abluftreinigungsverfahren und Einsatzbereiche

In der Übersicht Tabelle 1 sind die wichtigsten auf dem Markt verfügbaren Abluftreinigungsverfahren zusammengestellt [HAHNE et al., 2002].

Die Auswahl des Reinigungsverfahrens richtet sich vor allem danach, welche Emissionen gemindert werden sollen und welche Reinigungsleistung erforderlich ist. In jedem Fall ist zu prüfen, ob alle stallinternen Möglichkeiten ausgereizt sind, die Emissionen z. B. durch Optimierung der Fütterung und der Stallklimatisierung, zu mindern.

Tab. 1: Übersicht: Verfügbare Abluftreinigungsverfahren  
Available waste air purification systems

	Chemischer Wäscher	Rieselbettreaktor (Biowäscher)	Biofilter	Kombinationsverfahren (3-stufig)
Reinigungsleistung				
– Geruch	–	++	++	++
– Ammoniak	++	+	–	++
– Staub	+	+	+	++
Einsatzbereich (Haltungsverfahren)	Schweine (Flüssigmist), Mastgeflügel (Bodenhaltung)	Schweine (Flüssigmist)	Schweine (Flüssigmist)	Schweine, Geflügel (Fest- oder Flüssigmist)

Reinigungsleistungen bei ordnungsgemäßer Auslegung und Betrieb: – ungeeignet, + mindestens 70 %, ++ mindestens 90 % (Geruch: kein Stallgeruch in der Reinaluft wahrnehmbar bzw. Reingaskonzentration < 300 GE/m<sup>3</sup>)

Grundsätzlich können alle Verfahren nur bei zwangsgelüfteten Ställen eingesetzt werden, weil die Abluft aus den Ställen gesammelt und durch die Reinigungsanlage geleitet werden muss. Haltungsverfahren mit freier Lüftung, z. B. Kistenställe, lassen sich nicht mit einem Abluftfilter ausrüsten. Hauptanwendungsbereich ist daher die Schweine- und Geflügelhal-

tung. In der Rinderhaltung spielt sie keine Rolle, da hier überwiegend frei gelüftete Laufställe betrieben werden und das Belästigungspotenzial der Abluft im Vergleich zur Schweine- und Geflügelhaltung gering ist.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass zwar alle Abluftreinigungsverfahren in der Schweinehaltung, jedoch nur zwei Typen in der Geflügelhaltung eingesetzt werden können, da nur diese mit der hohen Staub- und/oder Federnfracht in der Abluft zurecht kommen. Nur dreistufige Kombinationsverfahren können bei allen Haltungsverfahren mit Fest- oder Flüssigentmischung betrieben werden (vgl. Übersicht 1).

### 3 Reinigungsleistungen

Die höchste Reinigungsleistung beim Geruch bieten Rieselbettreaktoren, Biofilter und Kombinationsverfahren (Übersicht Tab. 1). Biofilter müssen zu diesem Zweck immer ausreichend feucht gehalten werden (Rohgasbefeuchtung > 95 % rel. Luftfeuchte, Materialfeuchte > 40 %). Chemische Wäscher sind zur Geruchsminderung nicht zu empfehlen, da sie im Vergleich zu den anderen Verfahren einen geringen Wirkungsgrad aufweisen und sich durch den Säurezusatz die Art des Geruches ändern kann [HAHNE, 2003].

Eine dauerhaft hohe Ammoniakabscheidung setzt in jedem Fall den Zusatz von Säure im Waschwasser und eine pH-Regelung voraus ( $\text{pH} < 5$ ). Hierfür sind chemische Wäscher und die zweite Stufe der Kombinationsverfahren speziell ausgelegt. Biofilter sind zur Ammoniakminderung grundsätzlich ungeeignet. Je nach Milieubedingung (feucht, trocken) wird Ammoniak im Filtermaterial und Sumpfwasser akkumuliert, durchgelassen oder auch wieder freigesetzt. Das akkumulierte Ammoniak wird zum Teil nitrifiziert, so dass sich Nitrat und Nitrit anreichern, die den biologischen Geruchsabbau hemmen. Zu anderen Teilen wird es als Stickoxid und Lachgas wieder freigesetzt. Außerdem wird der pH-Wert im Filtermaterial und im Sumpfwasser stark abgesenkt [HAHNE, 2003; HÜGLE und MANNEBECK, 1993].

Alle Systeme scheiden Staub ab. Die Abscheidung ist jedoch umso besser, je größer die Füllkörperkolonne ist bzw. je mehr Reinigungsstufen hintereinander geschaltet sind (z. B. 3-stufige Kombinationsverfahren). Biofilter müssen ausreichend feucht gehalten werden, ansonsten können sie als Partikelquelle wirken [HAHNE, 2003]. Um den Austrag von Waschwassertröpfchen in die Umwelt zu vermeiden, müssen Wäscher am Auslass mit einem Tropfenabscheider ausgestattet sein.

Mit dem Staub werden auch dessen biologische Komponenten abgeschieden. Allerdings können sich – bedingt durch die Eigenbiologie insbesondere der biologischen Verfahren – im Reingas auch Keime und Endotoxine anreichern, so dass die Reingaskwerte größer als die Rohgaskwerte sind. Zudem kann sich die Keimzusammensetzung der Abluft bei der Passage durch die Abluftreinigungsanlage ändern, d. h. im Reingas können Keimspezies auftreten, die sich im Rohgas nicht finden [VDI-RICHTLINIE 4255, 2004; SEEDORF 2003]. Insgesamt besteht zu diesen Punkten Forschungsbedarf.

In der Praxis kommt es häufig vor, dass für einen Stall eine niedrigere Reinigungsleistung ausreichend ist, als der Hersteller für das System garantiert. In diesem Fall ist es aufgrund der niedrigeren Investitions- und Betriebskosten wirtschaftlicher, nur einen Teil der Abluft mit dem garantiert hohen Wirkungsgrad zu reinigen, als die gesamte Abluft mit einem niedrigen.

Eine dauerhaft hohe Reinigungsleistung setzt voraus, dass die Anlage richtig dimensioniert und ordnungsgemäß betrieben wird. Dies umfasst auch die regelmäßige Überwachung und

Wartung der Anlagen. Hier ist insbesondere der Landwirt als Betreiber in der Pflicht. Die Hersteller müssen die technischen und organisatorischen Voraussetzungen für die ordnungsgemäße Funktion schaffen (z. B. automatische Steuerung und Aufzeichnung der Anlagenparameter, Revisions- und Wartungsplan, Schulung).

#### 4 Auslegung der Anlagen

Ausgewählte Parameter, nach denen die angebotenen Verfahren ausgelegt werden, sind in der Übersicht Tab. 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Übersicht: Ausgewählte Auslegungs-Parameter  
*Selected design-parameters*

Parameter	Chemischer Wäscher	Rieselbettreaktor (Biowäscher)	Biofilter	Kombinationsverfahren (3-stufig)
Lufführung	Zentral	zentral	zentral/dezentral	zentral
Bauweise	Turm/Kompaktbauweise	Turm/Kompaktbauweise	Flächenbiofilter	Filterhaus
Flächenbelastung <sup>1)</sup> [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	5.000–7.500	1.450–7.000	250–350	1.000–1.690
Volumenbelastung <sup>1)</sup> [m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> h)]	25.000	1.450–5.800	275–1.000	–
Strömungsgeschwindigkeit <sup>1)</sup> [m/s]	3	0,4–2	< 0,1	< 1–1,5
Verweilzeit <sup>1)</sup> [s]	2	1–3	3,6–12	0,8–0,9 <sup>2)</sup>
Druckverlust <sup>1)</sup> [Pa]	< 40	< 60–70	< 20–100	< 60–100
Ansäuerung/pH-Regelung	Ja	–/ja	–	ja
Pumpen (Anschlussleistung 1.000 Mastplätze) [kW]	3	1,2–4	0–1,5	2–3

<sup>1)</sup> Bezogen auf die maximale Luftrate; <sup>2)</sup> Nur Filterwände.

Die Auslegung der Anlagen orientiert sich an der maximalen Sommerluftrate nach DIN 18910, die in 2004 neu gefasst wurde [DIN 18910-1, 2004]. Bisher wurden die Anlagen z. B. bei Mastschweinen in der Regel auf eine Luftrate von maximal 110 m<sup>3</sup> pro Stunde und Tierplatz ausgelegt („Rein/Raus-Verfahren“). Dabei müssen die Stallventilatoren ausreichend Leistungsreserven haben, um auch bei Sommerluftrate den Strömungswiderstand der Abluftreinigung zu überwinden. Zu den 30 bis 50 Pa Druckverlust eines typischen Stalles kommen je nach Verfahren 30 bis 100 Pa für die Abluftreinigung hinzu. In jedem Fall sollte geprüft werden, ob die Sommerluftrate z. B. durch Zuluftkühlung vermindert werden kann. Je kleiner die Sommerluftrate ist, umso kleiner kann die Abluftreinigung dimensioniert werden und umso niedriger sind die Kosten.

Wäscher und Kombinationsverfahren sind in der Regel nur in Verbindung mit einer zentralen Abluftführung einsetzbar. Biofilter können dagegen auch dezentral, d. h. abteilweise betrieben werden. Allerdings haben Biofilter den größten Flächenbedarf von allen Anlagenarten (etwa 2–4 Mastschweine pro m<sup>2</sup> Grundfläche je nach Typ), weil hier die Filter-Flächen- und -Volumenbelastung von allen Systemen am niedrigsten ist. Am kleinsten ist der Flächenbedarf von (Bio-/chem.-)Wäschern, die in Turm- oder Kompaktbauweise unter Dach ausgeführt werden (etwa 50–70 Mastschweine pro m<sup>2</sup> Grundfläche je nach Typ). Kombinationsverfahren liegen dazwischen (etwa 14–20 Mastschweine pro m<sup>2</sup> Grundfläche je nach Typ).

Typische Strömungsgeschwindigkeiten der Abluft betragen 0,1 (Biofilter) bis 3 m/s (Wäscher). Entsprechend ist die Verweilzeit in Biofiltern mit bis zu 12 s am längsten und in den Wäschersystemen mit wenigen Sekunden am kürzesten.

Die Anschlussleistungen der Pumpen, die für den Wasserumlauf eingesetzt werden und neben den Ventilatoren die größten Stromverbraucher sind, betragen 1 bis 4 kW (Standardanlage mit 1.000 Mastplätzen). Für die Oberflächenbefeuchtung von Biofiltern ist in der Regel der Vordruck der Hauswasserversorgung ausreichend. Die Abschlämmung und Frischwasserzufuhr bei den einzelnen Verfahren ist anlagenspezifisch und belastungsabhängig.

## 5 Kosten

In der Übersicht Tabelle 3 sind die Kosten der verschiedenen Verfahren nach Herstellerangaben zusammengestellt.

Tab. 3: Übersicht 3: Investitions- und Betriebskosten am Beispiel der Schweinemast (inkl. MwSt.)  
*Investment and operating costs considering pig fattening as example (incl. VAT)*

	Chemischer Wäscher	Rieselbetreaktor (Biowäscher)	Biofilter	Kombinationsverfahren (3-stufig)
Investitionskosten [€] pro Mastplatz	39–58	52–70	23–35	45–70
Betriebskosten [€] pro Mastschwein	1,75–2,55	0,60–1,75	1,15–1,75	1,15–2,05
Gesamtkosten [€] pro Mastschwein	3,20–4,70	2,50–4,35	2,00–3,05	2,80–4,65

Berechnungsgrundlage: 1.000 Mastschweine, 2,7 Umtriebe/a, 10 Jahre Abschreibung auf Investitionen; ohne Zusatzkosten für Ventilatoren, Luftführung, Abwasserlagerung und -ausbringung.

Die Kostenangaben weichen teilweise stark voneinander ab, je nachdem welcher technische Standard (insb. Anlagen-Auslegung/Wirkungsgrad) und welche Berechnungsgrundlagen unterstellt werden (z. B. Strom- und Wasserverbrauch, Abschreibungszeiträume) und inwieweit Eigenleistungen eingerechnet wurden. Zusätzliche Kosten zur Lagerung und Ausbringung des Abwassers sind in der Regel nicht berücksichtigt.

Die Kosten für Anlagen mit einem hohen Wirkungsgrad sind eher an der oberen Grenze der Kostenspannen angesiedelt. Zusätzlich ist mit einem Arbeitsaufwand für Kontrolle und Wartung in Höhe von 20 bis 50 h/a (1.000 Mastplätze) auszugehen. Weitere Kosten insb.

zum Umbau der Lüftungsanlage entstehen, wenn die Abluftreinigung an einem bestehenden Stall nachgerüstet wird. Am Beispiel der Schweinemast betragen die Mehrkosten je produziertes Mastschweinen mindestens 4 €.

## 6 Abluftreinigung – Stand der Technik?

Der Stand der Technik der emissionsarmen Tierhaltung wird in der TA Luft 2002 [TA LUFT, 2002] und dem BVT-Referenzdokument (BREF) „Intensive Rearing of Poultry and Pigs“ [EUROPEAN COMMISSION, 2002] beschrieben. Die Abluftreinigung gehört aufgrund der hohen Kosten nicht dazu. Der durchschnittlich erfolgreiche Schweinemäster macht bei Einsatz der Verfahren Verluste.

Dagegen beschreiben die VDI-Richtlinien „Biofilter“ [VDI-RICHTLINIE 3477, 2004] und „Biowäscher“ [VDI-RICHTLINIE 3478, 1996] den allgemeinen Stand der Technik von Abluftreinigungsverfahren. Diese allgemeinen Anforderungen werden zukünftig für den Einsatzbereich Tierhaltung im DLG-Prüfverfahren (SignumTest) für Abluftreinigungsanlagen konkretisiert. Um die wichtigsten Verfahren in Zukunft besser hinsichtlich der Kosten bewerten zu können, wird das KTBL Planungsdaten bereitstellen.

## 7 Literatur

HAHNE, J.; SCHIRZ, St.; SCHUMACHER, W. (2002): Leitfaden des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung. Landkreis Cloppenburg, Cloppenburg.

HAHNE, J. (2003): Möglichkeiten und Grenzen zur Minderung von Ammoniak-, Staub- und Geruchsemissionen durch Abluftreinigungsverfahren. In: KTBL (Hrsg.): 6. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2003, Vechta. Darmstadt, S. 253–259.

HÜGLE, Th.; MANNEBECK, D. (1993): Biofilter – Stoffliche Umsetzungen und Probleme. Landtechnik 11, S. 569–571.

VDI-RICHTLINIE 4255 Bl.1 (Entwurf) (2004): ‚Bioaerosole‘- Emissionsquellen und -minderungsmaßnahmen. Beuth-Verlag, Berlin.

SEEDORF, J. (2003): Beurteilung von Stäuben und Keimen. KTBL-Vortragstagung „Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung“, Hannover, Mai 2003.

DIN 18910-1 (2004): Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe. Beuth-Verlag, Berlin.

TA LUFT (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 24. Juli 2002, GMBL. 2002, Heft 25–29, S. 511–605.

EUROPEAN COMMISSION (2002): Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs (11.02), Seville ([http://eippcb.jrc.es/cgi-bin/locatemr?ilf\\_bref\\_1102.pdf](http://eippcb.jrc.es/cgi-bin/locatemr?ilf_bref_1102.pdf)).

VDI-RICHTLINIE 3477 (2004): Biologische Abgasreinigung – Biofilter. Beuth-Verlag, Berlin.

VDI-RICHTLINIE 3478 (1996): Biologische Abgasreinigung – Biowäscher und Rieselbettreaktoren. Beuth-Verlag, Berlin.

## Ammoniakabscheidung bei Abluftwäschern *Ammonia separation at waste gas scrubbers*

JOCHEN HAHNE, WILFRIED ASENDORF, KLAUS-DIETER VORLOP

Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Abluftwäscher, Ammoniak, Spurengase, Lachgas, Schweinehaltung  
**Keywords:** Waste gas scrubber, ammonia, trace gases, nitrous oxide, piggyery

### Zusammenfassung

Mit einem zweistufigen Abluftwäscher wurden Versuche zur Ammoniakabscheidung aus Stallabluft mit und ohne pH-Wertregelung durchgeführt. Konstant hohe Ammoniakabscheidegrade von durchschnittlich 97,5 % wurden bei  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Volumenbelastungen von  $434 \text{ g}/(\text{m}^3 \text{ Füllkörper} \cdot \text{d})$  mit pH-Regelung erzielt (Stufe 1:  $\text{pH} = 3,3$ ; Stufe 2:  $\text{pH} = 1,3$ ). Ohne pH-Regelung und trotz erheblich geringerer Volumenbelastung lagen die Ammoniakabscheidegrade mit 61,3 bzw. 45,3 % deutlich niedriger. Bei der Abluftwäsche unter sauren Bedingungen wurden praktisch keine sekundären Spurengase gebildet. Der Umfang der Lachgasbildung bei der unregulierten Abluftwäsche bewegte sich zwischen 3,5 und 7,5 % des Ammoniak-N-Eintrages und zeigte einen klaren Zusammenhang mit der im Waschwasser gebildeten Nitrit-Menge. Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit unregelter Abluftwäscher muss im Gegensatz zu geregelten Systemen mit einer 20-fachen Abschlämmrate gefahren werden.

### Summary

Tests for ammonia reduction from stable waste air were carried out in a two-stage waste gas scrubber with and without pH control. At a  $\text{NH}_3\text{-N}$  volume load of  $434 \text{ g}/(\text{m}^3 \text{ filling bodies} \cdot \text{d})$  a constant high ammonia reduction of 97.5 % was achieved in average with a pH control (stage 1:  $\text{pH} = 3.3$ ; stage 2:  $\text{pH} = 1.3$ ). Without a pH control the ammonia reduction was clearly lower with 61.3 and 45.3 % in spite of significant lower volume loads. Secondary trace gases were nearly not produced at the waste gas scrubbing under acidic conditions. The extent of nitrous oxide production at the uncontrolled waste gas scrubbing varied between 3.5 and 7.5 % of the  $\text{NH}_3\text{-N}$  input and showed a evident correlation with the nitrite amount in the washing water. For securing the efficiency of uncontrolled waste gas scrubbers a 20 fold blowdown is required in comparison to controlled systems.

## 1 Ziele

Anlagen zur Schweinehaltung können erhebliche Ammoniakfrachten emittieren. Je nach Haltungsverfahren werden für Mastschweine Ammoniakemissionsfaktoren zwischen 2,4 und 4,9 kg je Tierplatz und Jahr angegeben. Werden nun für bestimmte Standorte Emissionsminderungen für Ammoniak verlangt und stallinterne Potenziale sind bereits ausgeschöpft, bietet die Abluftreinigung Möglichkeiten, die Emissionen deutlich zu senken. Der Umfang dieser Emissionsminderungen ist jedoch nach wie vor strittig. Dies gilt auch für die Frage, welche Sekundäremissionen entstehen und welchen Umfang sie haben. Ziel der Arbeiten ist es daher, anhand von langfristigen Versuchen mit entsprechenden N-Bilanzierungen die Ammoniakabscheidegrade und den Umfang der Sekundäremissionen zu bestimmen.

## 2 Material und Methoden

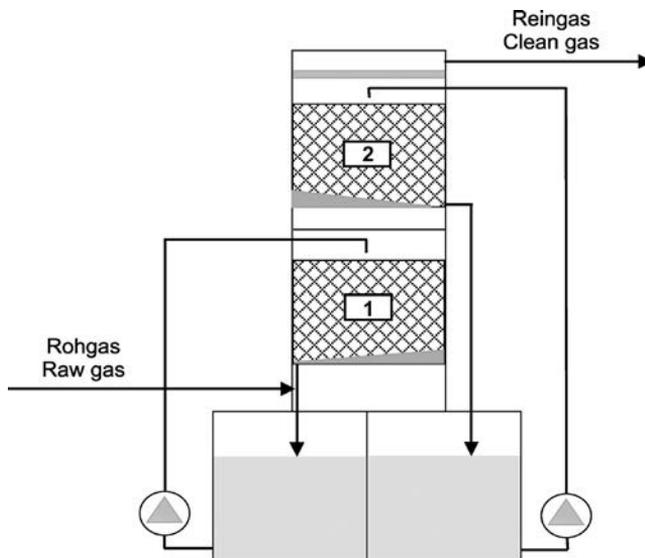


Abb. 1: Zweistufiger Abluftwäscher zur Reinigung von Stallabluft  
Two-stage waste air scrubber for cleaning of stable waste air

Zur Reinigung von Abluft aus konventionellen Mastschweineställen (Zwangsbelüftung nach DIN 18910, Vollspalten) wurde ein zweistufiger Abluftwäscher eingesetzt (Abb. 1). Der im Gegenstrom betriebene Abluftwäscher besteht aus 2 Waschkreisläufen mit Füllkörperschüttungen von je 0,8 m Länge und 0,6 m Durchmesser. Die spezifische Oberfläche der hohlkugelförmigen Füllkörper beträgt  $98 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Die Waschwasserverteilung erfolgt über einen Drehsprengrer (Stufe 1), bzw. mit einer Spiraldüse (Stufe 2). Das Waschwasservolumen beträgt 560 Liter je Waschstufe. Der Füllstand der Waschvorlagen wird gemessen und über eine automatisch arbeitende Frischwassereinspeisung konstant gehalten. Die Berieselungsdichte beider Stufen ist variabel zwischen  $1$  und  $14 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . Der Abluftwäscher kann mit und

ohne pH-Wertregelung betrieben werden. Bei pH-geregeltem Betrieb erfolgt die Zudosierung von konzentrierter Schwefelsäure in die Waschstufe 2 bis zur Erreichung eines eingestellten pH-Sollwertes. Über eine regelbare Pumpe P 3 wird diese stark verdünnte Schwefelsäurelösung in die Waschstufe 1 gepumpt, bis auch in dieser Stufe der Sollwert erreicht wird. Bei maximalem Füllstand wird die Pumpe P 3 abgeschaltet. Im unregulierten Betrieb werden beide Waschstufen getrennt ohne die Pumpe P 3 gefahren.

Die Versuchsbedingungen der drei durchgeführten Versuche sind in Tab. 1 zusammengefasst. Alle Versuche wurden über einen ausreichend langen Zeitraum durchgeführt, um das Betriebsverhalten der Abluftwäsche sicher beurteilen zu können. Dies betrifft insbesondere mögliche Verstopfungen der Düsen sowie Ablagerungen auf den Tropfenabscheidern. Bei Versuch 1 wurde mit angesäuertem Wasser gearbeitet, wobei der pH-Wert des Waschwassers mit 96 %iger Schwefelsäure im Mittel auf 3,3 (Stufe 1), bzw. 1,3 (Stufe 2) gehalten wurde. Die Stickstofffrachten bei diesem Versuch waren mit durchschnittlich 217 g/d gegenüber 55 g/d (Versuch 2) und 68 g/d (Versuch 3) sehr hoch. Bei den Versuchen 2 und 3 wurde auf eine pH-Wertregelung verzichtet, da viele Abluftwäscher in der Praxis unreguliert betrieben werden. Auf eine Abschlammung von Waschwasser wurde ebenfalls verzichtet, um die durch die Stickstoffakkumulation auftretenden Effekte nachweisen zu können.

Tab. 1: Versuchsbedingungen bei der zweistufigen Abluftwäsche (Mittelwerte in Klammern)  
 Test conditions at the two-stage waste gas scrubbing (mean values in brackets)

Versuchsnummer <i>test number</i>	1	2	3
Versuchsdauer <i>test period [d]</i>	182	409	154
pH – Regelung <i>pH control</i>	Ja Yes	Nein No	Nein No
NH <sub>3</sub> , Rohgas <i>NH<sub>3</sub>, raw gas [ppm]</i>	4,2–19,5 (11,7)	0,8–13,6 (6,8)	0,8–10,7 (5,2)
NH <sub>3</sub> -N-Fracht <i>NH<sub>3</sub>-N load [g/d]</i>	81–374 (217)	0–110 (55)	11–120 (68)
Volumenbelastung <i>volume load [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·h]</i>	2663–2816 (2743)	765–1218 (1189)	695–2297 (1962)
Oberflächenbelastung <i>surface load [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h]</i>	4261–4505 (4389)	1224–1949 (1903)	1112–3675 (3140)
NH <sub>3</sub> -N-Volumenbelastung <i>NH<sub>3</sub>-N volume load [g/m<sup>3</sup>·d]</i>	162–748 (434)	0–220 (110)	22–240 (136)
Gasgeschwindigkeit <i>gas velocity [m/s]</i>	1,18–1,25 (1,22)	0,34–0,54 (0,53)	0,31–1,02 (0,87)
Verweilzeit FK <i>retention time FB [s]</i>	1,3–1,4 (1,3)	3,0–4,7 (3,0)	1,6–5,2 (1,8)

FK: Füllkörper, FB: filling bodies

### 3 Ergebnisse

Der Versuch 1 mit pH-Regelung beider Waschstufen ( $S_1 = 3,3$ ;  $S_2 = 1,5$ ) ergab bei mittleren  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Volumenbelastungen von  $434 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  mit durchschnittlich  $97,5 \%$  konstant hohe Abscheidegrade für Ammoniak (Abb. 2). Durch einen Ausfall der Säuredosierung in der Zeit vom 107 bis 109 Versuchstag sank der dieser kurzfristig unter  $80 \%$ . Bei den Versuchen 2 und 3 mit täglichen  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Frachten von  $110$  bzw.  $136 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ , bei denen auf eine pH-Regelung verzichtet wurde, schwankten die  $\text{NH}_3$ -Abscheidegrade beträchtlich. Sie bewegten sich im dargestellten Zeitraum zwischen  $-20$  und  $87 \%$ . Bei laufender Nitrifikation im Versuch 2 lag der mittlere Ammoniak-Abscheidegrad bei  $61,3 \%$ , während dieser bei gehemmter Nitrifikation nur  $45,3 \%$  betrug (Versuch 3). Die Schwankungen des Ammoniak-Abscheidegrades sind im wesentlichen auf die sich bei der Abluftwäsche einstellenden, sehr unterschiedlichen pH-Werte und die Schwankungen der Ammoniakfracht in der Rohluft zurückzuführen.

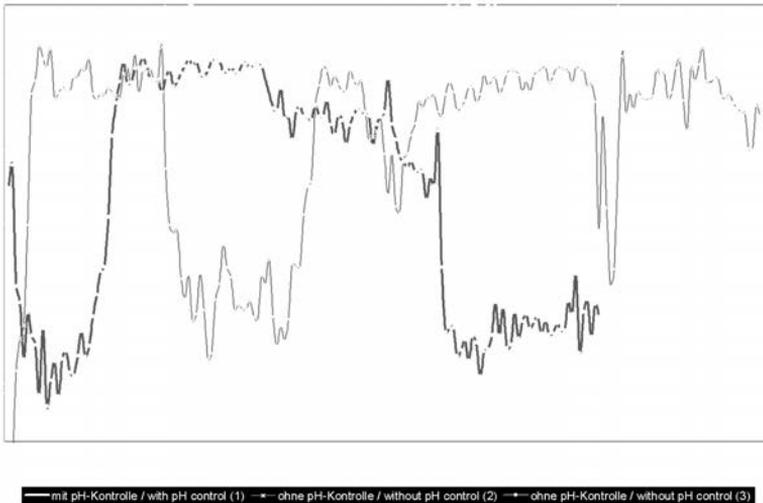


Abb. 2: Ammoniakabscheidegrade bei der zweistufigen Abluftwäsche mit und ohne pH-Regelung  
*Ammonia reduction at the two-stage waste gas scrubbing with and without pH control*

Die Stickoxidproduktion war bei allen drei Versuchen mit weniger als  $1 \%$ , bezogen auf den  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Eintrag, vernachlässigbar, wobei die höchsten Emissionen bei Versuch 3 festgestellt wurden. Demgegenüber traten bei der Lachgasbildung erhebliche Differenzen auf (Tab. 2). Während bei der sauren Abluftwäsche praktisch kein Lachgas gebildet wurde, kam es bei den unregulierten Versuchen zu deutlichen Sekundäremissionen. Bezogen auf den  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Eintrag lagen sie bei  $3,5$  (Versuch 2) bzw.  $7,5 \%$  (Versuch 3). Die Lachgasbildung zeigt einen deutlichen, nahezu linearen Zusammenhang mit der im Washwasser gebildeten Nitrit-N-Menge und steigt mit dieser an (Abb. 3).

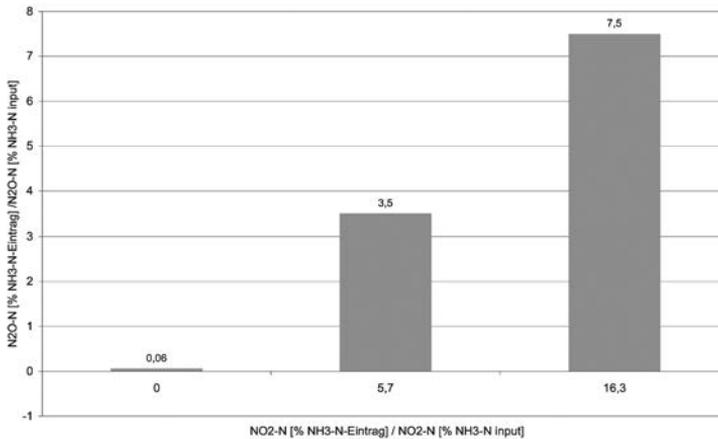


Abb. 3: Lachgasproduktion in Abhängigkeit von der Nitritmenge im Waschwasser  
 Nitrous oxide production against nitrite amount in the washing liquid

Tab. 2: Ergebnisse der zweistufigen Abluftwäsche (Mittelwerte in Klammern)  
 Results of the two-stage waste gas scrubbing (mean values in brackets)

Versuchsnummer test number	1	2	3
pH-Wert pH value	S 1: 2,5–8,5 (3,3) S 2: 0,8–8,0 (1,3)	S 1: 6,7–8,4 (7,4) S 2: 5,8–8,7 (6,9)	S 1: 6,7–8,4 (7,3) S 2: 5,8–8,7 (7,1)
NH <sub>3</sub> -Abscheidung [%] NH <sub>3</sub> separation eff. [%]	77,5–99,9 (97,5)	–43,3–88,9 (61,3)	–10,3–85,5 (45,3)
NO <sub>x</sub> -N-Produktion [%]* NO <sub>x</sub> -N production [%]*	0,35	0,08	0,49
N <sub>2</sub> O-N-Produktion [%]* N <sub>2</sub> O-N production [%]*	0,06	3,5	7,5
Ammonium-N [%]* Ammonia-N [%]*	97,5	21,0	25,4
Nitrit-N [%]* Nitrite-N [%]*	0	5,7	16,3
Nitrat-N [%]* Nitrate-N [%]*	0	16,3	2,4

S 1: Stufe 1, stage 1; S 2: Stufe 2, stage 2

[%]\* = [%] vom NH<sub>3</sub>-N-Eintrag; [%]\* = [%] of NH<sub>3</sub>-N input

Der bei der pH-geregelten Abluftwäsche abgetrennte Ammoniak wird praktisch ausschließlich als Ammoniumsulfat aufkonzentriert. Bei Einsatz von Schwefelsäure entsteht hierbei Ammoniumsulfat, das bis zur Sättigungsgrenze im Waschwasser angereichert wird. Bei der unregulierten Abluftwäsche werden neben Ammoniumsulfaten Nitrite und Nitrate gebildet. Diese können auch nur in geringem Umfang aufkonzentriert werden, da die Nitrifikanten

durch freies Ammoniak und salpetrige Säure bereits bei geringen Konzentrationen gehemmt werden. Bei der pH-geregelten Abluftwäsche fallen je Mastplatz und Jahr zwischen 30 und 40 Liter Waschwasser im Jahr an. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit der Nitrifikanten müssen bei der unregelmäßigen Abluftwäsche je Mastplatz und Jahr ca. 800 Liter Waschwasser abgeschlämmt werden. Diese hohen Abschlämmraten ergeben sich aus den spezifischen Emissionsfaktoren (Schweinemastplatz: 3 kg NH<sub>3</sub> oder 2,47 kg NH<sub>3</sub>-N im Jahr) und den Hemmgrenzen für die Nitrifikanten. Die Versuche 2 und 3 haben gezeigt, dass die Nitrifikanten bei pH 7 etwa bei 1500 mg/l NO<sub>2</sub>-N gehemmt werden (Tab. 3). Das Verhältnis zwischen reduziertem und oxidiertem Stickstoff betrug bei laufender Nitrifikation etwa 1 : 1. Demnach wären maximal 3000 mg/l als tolerable N-Konzentration im Waschwasser bei einem pH-Wert um 7 anzusetzen. Zur Abschlämmung von 2,47 kg NH<sub>3</sub>-N sind demzufolge 823 l Waschwasser mit einer maximalen N-Konzentration von 3000 mg/l erforderlich.

Tab. 3: Mittlere Nitritbildungsrate in Abhängigkeit von der mittleren Nitrit-N-Konzentration im Waschwasser  
*Mean nitrite production rate against mean nitrite concentration in the washing liquid*

NO <sub>2</sub> -N [mg/kg]	Nitritbildungsrate [mg/kg d] / nitrite production rate [mg/kg · d]
0–100	2
100–500	24
500–1000	29
1000–1500	32
> 1500	0

Das abgeschlämmte Wasser sollte sinnvoll verwertet und nicht kostenpflichtig in den Abwasserkanal abgeleitet werden. Bei Ableitung in die Güllegrube und einer 6-monatigen Lagerdauer müsste das Speichervolumen um etwa 50 % erhöht werden. Die starke Gülleverdünnung führt zu einem erhöhten Arbeits- und Maschinenaufwand. Darüber hinaus würden ca. 50 % des aus der Abluft abgetrennten und im Waschwasser gebundenen Stickstoffs bei der Güllelagerung über die Denitrifikation wieder verloren gehen und weitere Sekundäremissionen verursachen.

Der Einsatz von Abluftwäschern und Rieselbetтанlagen zur Ammoniakabscheidung ist ohne pH-Wertregelung angesichts der hohen und notwendigen Abschlämmraten nicht empfehlenswert.

## Ammonia emissions in organic pig production Die Ammoniakemissionen in der ökologischen Schweinehaltung

SONJA G. IVANOVA-PENEVA<sup>1, 2</sup>, ANDRÉ J. A. AARNINK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wageningen University and research center, Agrotechnology and Food Innovations, P.O. Box 17, 6700 AA Wageningen, The Netherlands,

<sup>2</sup> Agricultural Institute, 3 Simeon Veliki blvd., 9700 Shumen, Bulgaria

**Keywords:** Ammonia emission, fattening pigs, pregnant sows

**Schlüsselwörter:** Ammoniakemission, Mastschweine, Tragende Sauen

### Summary

Within this project ammonia emissions from outside yards for fattening pigs with live weight 45 kg and 80 kg and pregnant sows on three commercial organic pig farms was quantified. Ammonia emission of the air during 2 periods – spring-summer and autumn-winter was measured directly by a special chamber. In fatteners the effect of farm on ammonia emission per m<sup>2</sup> and per pig was highly significant ( $P < 0.001$ ). Ammonia emission in farm 1, 2 and 3 was 12.1, 2.8 and 2.9 g.day<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>. Period had a significant influence on ammonia emission per unit area ( $P < 0.01$ ). A highly significant effect of location and degree of fouling on ammonia emissions per m<sup>2</sup> was found ( $P < 0.001$ ). In pregnant sows effect of farm, effect of period and effect of location were not statistically significant. Only the effect of degree of fouling was highly significant ( $P < 0.001$ ). Ammonia emission was 3.9, 1.2 and 2.7 g.day<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> on farm 1, 2 and 3, resp. From the experiments the following was concluded: ammonia emissions between organic pig farms vary considerably. Manure removal system and design of pen and outside yard seem to be main factors related to ammonia emission.

### Zusammenfassung

In diesem Projekt wurden die Ammoniakemissionen von Außenhaltungen für Mastschweine mit 45 kg und mit 80 kg Lebendgewicht und tragende Sauen quantifiziert. Diese Untersuchung wurde auf drei kommerziellen ökologischen Schweinebetrieben ausgeführt. Die Ammoniakemissionen in die Luft wurden direkt durch eine Spezialekammer gemessen in zwei Perioden durchgeführt: im Frühling/Sommer und im Herbst/Winter. Bei den Masttieren war der Einfluss des Betriebes auf die Ammoniakemissionen pro m<sup>2</sup> und pro Schwein hochsignifikant ( $P < 0,001$ ). Die Mastperiode hatte signifikanten Einfluss auf die Ammoniakemissionen pro Flächeneinheit ( $P < 0,01$ ). Es wurde ein hochsignifikanter Einfluss des Ortes und Maß an Verschmutzung auf die Ammoniakemissionen pro m<sup>2</sup> gefunden ( $P < 0,001$ ). Bei tragenden Sauen war der Einfluss des Betriebes, der Jahresperiode und des Ortes nicht statistisch signifikant. Nur der Einfluss von Maß an Verschmutzung war hochsignifikant ( $P < 0,001$ ). Ammoniakemissionen von gepflasterten Außenbereichen auf ökologischen Schweinebetrieben sind sehr stark verschieden. Ein gutes Entmistungssystem (mit Spaltenboden oder Dungräumgerät) und ein fachgerechter Entwurf der Buchten können die Ammoniakemissionen vermindern.

## 1 Introduction

Organic farming is considered environmentally beneficial due to ban of artificial fertilizers and pesticides and by creating a mineral cycle in agricultural production. However, scientific evidence of the environmental impact of organic farming is scarce. From a research, carried out in Denmark, it is concluded that organic pig production has a lower N-efficiency and a higher N-surplus per kg meat than conventional pig production (DALGGARD et al., 1998). In that connection outside yards and inside pens with straw for pigs and sows might give considerable losses of N as emitted ammonia to the air. The aim of this project was to define ammonia emissions from fattening pigs and pregnant sows in organic farms.

## 2 Material and methods

This study was carried out on three commercial organic pig farms in different locations in The Netherlands. Two categories of fattening pigs were involved in the study – with live weight 45 kg and 80 kg. The experiment was carried out in 2003 during 2 periods – spring-summer and autumn-winter, in two pens per farm, one pen per live weight group. There were three different ways of cleaning the floor of the outside yards in fatteners. In farm 1 manure was removed by hand car, with frequency every two weeks. In farm 2 a part of the floor was slatted, situated on both sides of the yard. The solid part of the yard was cleaned from manure weekly during the winter and spring and every one or two days during summer and autumn. In farm 3 there was a scraper for daily cleaning of manure situated on the outermost part of the outside yard. Outside yards of sows in all farms were cleaned weekly by hand and a small tractor.

### 2.1 Ammonia concentration of the air

Ammonia concentration was measured using a special chamber (AARNINK et al., 2002) constructed of steel walls. Two ventilators provided airflow through the measuring section. Ammonia concentration of incoming and outgoing air was determined with ammonia absorption tubes (Kitaqawa, Japan). Airflow was approximately  $0.22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  above emitting surface. Ammonia emissions with this chamber were measured inside the building and on outside paved yard of fatteners and pregnant sows. Measuring points were randomly chosen within fouled and clean areas in the pen. Fouled areas were defined as areas wetted with urine.

### 2.2 Statistical analyses

Ammonia emission was calculated from the ammonia concentrations of the outgoing and incoming air and from the ventilation rate. Data were analysed in a factorial model using restricted maximum likelihood method (REML) of Genstat – Release 7.1. Fixed effects were tested by the Chi-square probability test, using the following model:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + W_j + P_k + (F.W)_{ij} + (F.P)_{ik} + (W.P)_{jk} + e_{ijk}$$

where:  $Y_{ijk}$  is  $\text{NH}_3$  emission per  $\text{m}^2$  or per pig;  $\mu$  is the overall mean; F is effect of farm; W is effect of weight; P is effect of period,  $ijk$  are levels of fixed effects,  $e_{ijk}$  is error.

First statistical analysis was done for determining main effects and their interaction effects on ammonia emission per m<sup>2</sup> and per pig. Consequently, the effect of location (indoor/outdoor) was added to this model. Finally, the effect of degree of fouling of area on ammonia emission was determined. For sows the calculations were done in the same way; the only one difference is exclusion the effect of live weight.

### 3 Results

#### 3.1 Ammonia emission from outside yards of fattening pigs

Ammonia emissions per m<sup>2</sup> are presented in table 1. Clear differences were found between different farms ( $P < 0.001$ ). Farm 1 is distinguished from farms 2 and 3 with a very high level of ammonia emission, particularly in first period, in both 45 and 80 kg fatteners. The pens of fatteners with weight 45 kg had a higher ammonia emission, than fatteners with weight 80 kg, but the difference was not big and not statistically significant. Period had a significant influence on ammonia emission per unit area ( $P < 0.01$ ). The significant interaction effect between farm and period shows that in the two studied periods (end of April till June 2003 and end of September – end of October 2003) between farms differences in ammonia emission of fatteners were different.

Tab. 1: Effect of farm, weight and period on ammonia emission per m<sup>2</sup> of fattening pigs

Farm	Weight	Period	NH <sub>3</sub> emissions g.day <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>	Overall effects		
				Factor	P value	S.E.D.
1.	45 kg	1	19.3	Farm	$P < 0.001$	1.4
		2	7.3			
	80 kg	1	16.5	Weight	n.s.	1.1
		2	5.3			
2. <sup>1)</sup>	45 kg	1	3.3	Period	$P < 0.01$	1.1
		2	2.5			
	80 kg	1	3.6	Farm.weight	n.s.	2.0
		2	1.8			
3.	45 kg	1	0.2	Farm.period	$P < 0.001$	2.0
		2	6.7			
	80 kg	1	2.5	Weight.period	n.s.	1.6
		2	2.2			

<sup>1)</sup> Emission from manure pit not included

In the second model the effect of location was added as a source of variance. Emissions inside the building are less than on outside yards in all farms, about two times in farm 1 and 2. In farm 3, where almost no urinations and defecations were observed inside the building, almost all ammonia emissions of fattening pigs came from outside yard. There were differences between emissions in one and the same location between farms. In farm 1 ammonia emissions inside were higher, comparing with farm 2 and 3 as well as ammonia emissions outside.

Tab. 2: Predicted means of ammonia emissions inside and outside the building of fattening pigs

Farm	Inside the building <sup>1)</sup>		On outside yard <sup>1)</sup>	
	g.day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	g.pig <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	g.day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	g.pig <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>
Farm 1	7.7a	8.0a	17.6a	14.5a
Farm 2	1.9b	2.0b	3.6b	3.5b
Farm 3	0b	0.4b	5.0b	4.7b

<sup>1)</sup> Means within a column without a common superscript letter differ significantly (P < 0.05).

In the third model the degree of fouling of area was added and this effect was highly significant (P < 0.001). Interaction effect between location and fouled area showed that ammonia emissions from clean areas (inside – 1.9 g.day<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> and outside – 2.7 g.day<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>) were much less than from fouled area in all farms. It is interesting that inside fouled area has a greater value – 13.3 g.day<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> than from outside yard – 11.4 g.day<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>.

### 3.2 Ammonia emission from outside yards of pregnant sows

Ammonia emissions of building of pregnant sows are presented in table 3. There was a lot of variation in ammonia emissions of sows between different farms similar as of fattening pigs, but not statistically significant. Ammonia emission in farm 1 was higher than in farms 2 and 3. Farm 2 is distinguished from other two farms with emissions that were smallest and almost equal in the two times of measurements. Although the effect of period had no significant influence on ammonia emission, from the results in the tables it is seen that there were big differences between the two periods. Farm 1 is specified with highest emission, but this is valid only for the second period of measurements. In the same farm ammonia emission, measured first time, was quite low.

Tab. 3: Effect of farm and period on ammonia emission per m<sup>2</sup> and per pig place per year of pregnant sows

Farm	Period	Effects g.day <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>		P value	S.E.D.
1. <sup>1)</sup>	1	1.0	Farm	n.s.	2.3
	2	6.7			
2. <sup>1)</sup>	1	1.2	Period	n.s.	1.9
	2	1.2			
3.	1	2.6	Farm. period	n.s.	2.4
	2	2.8			

<sup>1)</sup> Emission from manure pit under the slatted floor not included.

The effect of location in pregnant sows in the second model was not significant. As distinguished from fattening pigs, in sows ammonia emissions indoor were higher than outdoor (Table 4). Only in farm 2 the same trend like in fatteners existed, but in this farm emissions were much less than in other two farms. In farm 1 emissions inside the building were very

high, compared with emissions from outside yard. In this farm emissions from outside yard were threefold lower than in other two farms.

In the third model effect of degree of fouling of area was added as a source of variance of ammonia emissions. Only the effect of fouled or not fouled areas was highly significant ( $P < 0.001$ ). Like in fatteners, ammonia emissions from clean area were much less than from fouled area and inside polluted area has a greater value than from outside yard, but these values are smaller than in fattening pigs.

Tab. 4: Predicted means of ammonia emissions inside and outside the building of pregnant sows

Farm	Inside the building <sup>1)</sup>		On outside yard <sup>1)</sup>	
	g.day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	g.pig <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	g.day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	g.pig <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>
Farm 1	7.4	19.1	0.6	1.3
Farm 2	0.6	1.6	1.8	5.5
Farm 3	4.0	8.5	1.8	5.4

<sup>1)</sup> Means within a column without a common superscript letter differ significantly ( $P < 0.05$ ).

## 4 Discussion

### 4.1 Ammonia emission from outside yards of fattening pigs

In our study the effect of farm on ammonia emissions is highly significant in fattening pigs. The main reason for differences between farms seems to be the strong influence of manure management. Much higher ammonia emissions were measured in farm 1, where manure is manually removed every two weeks, comparing with farm 2 and 3 (Table 1, 2). The quantity of manure at this farm, collected during long time, was large and was spread all over the yard, forming a deep layer of manure. Regular addition of fresh urine from urinations of pigs, coming at any time of the day and getting in touch with this manure, is probably responsible for much bigger rate of ammonia volatilisation. The lower NH<sub>3</sub> emissions, measured at farm 2 and farm 3, was probably due to different ways of cleaning and regularly removing of manure. MISSELBROOK et al. (1998), also found that the most influencing ammonia emission parameters are the amount of urine and faeces deposited on the yards, urease activity and the efficiency of removal of urine and faeces. Frequency and efficiency of yard cleaning might be additional factors important for emissions from outdoor yard areas (MONTENY and ERISMAN, 1998).

The significant effect of period (Table 1) could be explained by difference in temperatures during the measurements in the two periods. Higher temperatures during the first period (end of April–June 2003 – mean 16.5 °C), comparing with second (end of September–October 2003 – mean 11.9 °C), were measured and they might have influenced the amount of ammonia emitted.

Ammonia emissions indoor and outdoor were different, with highly significant difference ( $P < 0.001$ ). They were smaller inside, because of limited number of urinations and defecations inside the pen causing a smaller polluted area. Pig's natural behaviour is, when they have choice, to separate lying and dunging place (AARNINK et al., 1996, VAN PUTTEN, 2000). In most cases pigs had a preference to excrete on outside yard and to keep inside lying area clean.

Within this research, highly significant effect of degree of fouling with urine area on ammonia emission in fattening pigs as well as in pregnant sows was found. This observation is in synchrony with the theory, that a linear relationship between the area of ammonia source and the ammonia emission is expected (ELZING et al., 1992). Furthermore, area inside the building, polluted with urine and faeces caused higher emissions per m<sup>2</sup>, than a fouled paved yard. In organic pig production a lot of straw is used inside the building. Straw probably gives a larger emitting area than a paved yard. Moreover the temperature inside was higher than the temperature outside and as theory, and research shows (AARNINK et al., 1998; ELZING and MONTENY, 1997), temperature is an important factor influencing NH<sub>3</sub> emission.

#### 4.2 Ammonia emission from outside yards of pregnant sows

As a whole the effect of farm, effect of period and effect of location in pregnant sows was not statistically significant, probably because of the smaller number of data set in sows than in fatteners and small number of variables in the models.

Although farm had no significant effect on ammonia emissions, it is clear, that there are a lot of differences between farms. One of the reasons is linked with the different construction of outside yard. In farm 1, in contrast to other two farms, the outside yard of pregnant sows is without a roof. It is proved from observations of the behaviour that in this farm sows avoid rain and immediately went inside after the rain started. Sows fouled large floor area inside with urine and faeces and this is contributed to high ammonia emissions. In the same farm both of the measurements of emission from outside yard were very small. This may be caused by the open from every side area of the yard. On the other two farms outside yards for sows were covered and ammonia emissions were 3 times higher (Table 4).

In pregnant sows frequency of manure removal was not a factor, influencing emissions, like in fatteners. The lowest emissions were measured in farm 2, where, except of the proper design, the whole system was different – sows had a paved yard, a sandy yard and a long sandy road to the paddock available. This was the reason why faeces and urine were more spread in the whole system, and relatively little were produced inside the building and on outside yard and thereby caused lower emissions.

## 5 Conclusion

Ammonia emissions from paved outside yards and buildings in organic pig farms are very variable between farms. A good manure removal system (slats or scraper) and proper design of buildings can reduce ammonia emissions. Good management on the farm can contribute in reduction of ammonia emissions as well.

## 6 References

The Reference list is available in request via the author: [Sonia.Ivanova@wur.nl](mailto:Sonia.Ivanova@wur.nl)

# Plasmaphysikalisches Verfahren zur Emissionsminderung in der Nutztierhaltung

## *Non-Thermal-Plasma technique for mitigating emissions in animal husbandry*

RALF KOSCH<sup>1</sup>, AXEL DECKER<sup>2</sup>, HERMAN VAN DEN WEGHE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft, Georg-August-Universität Göttingen, Universitätsstr. 7, D-49377 Vechta

<sup>2</sup> Firma UltraKat Plasmatechnik AG, Max-Roth-Str. 1, D-76571 Gaggenau

**Schlüsselwörter:** Nicht-thermisches-Plasma, Emissionen, Ammoniak  
**Keywords:** *Non Thermal-Plasma, emission, ammonia*

### **Zusammenfassung**

*Plasmaphysikalische Verfahren haben in industriellen Abluftreinigungsverfahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. In dem Beitrag wird ein Verfahren mit einem Nicht-Thermischen-Plasma (NTP) hinsichtlich der Abbauwirkung von Ammoniak vorgestellt. Bei der Plasmagene-se im NTP-Reaktor entstehen eine Vielzahl von Radikalen und Ionen mit kurzer Lebensdauer, wie beispielsweise Ozon. Vorwiegend sind es diese Produkte, die eine chemische Reaktion mit dem Ammoniak eingehen. In ersten Untersuchungen an einer im Schweinemaststall installierten NTP-Abluftreinigungsanlage konnte eine Reduktion der Ammoniak-Konzentration von 18 % festgestellt werden. Die chemischen Abbauprodukte des Ammoniaks sind u. a. nitrogene Verbindungen die mit den Methoden der Gasanalytik in dieser Untersuchung noch nicht vollständig erfasst werden. Die aufgewendete Energie für den Ammoniak-Abbau ist aber noch erheblich, so dass die Effizienz der NTP-Abluftreinigung durch die Kombination mit anderen Verfahren verbessert werden soll. Zum einen sollen somit die hohen Restozon-gehalte vernichtet werden und zum anderen die Umsetzungsraten durch die Vergrößerung der Reaktionsoberfläche erhöht werden.*

### **Summary**

*The use of Non-Thermal-Plasma techniques provides an innovative application for the treatment of exhaust air. This article focuses on the reduction of ammonia by a NTP-reactor. An important product of the NTP-reactor is ozone and in addition to it a variety of chemical radicals with short lifetimes. These radicals are considerably responsible for the chemical reaction with ammonia and the chemical reaction with ammonia result to compounds whose are not detectable with the FTIR-Analyzer in this research. However, first investigations in a fattening pig house show a reduction 18 % of ammonia by air treatment with the NTP reactor. The NTP-technique should be combined with other procedures both, to destroy the ozone and arise the reaction rate.*

## 1 Einleitung

Nicht Thermische Plasmen (NTP) haben in zahlreichen industriellen Anwendungen an Bedeutung gewonnen und gelten als innovative Verfahren. Durch die Anregung von Gasen zu einem Gemisch aus kurzlebigen Radikalen und Ionen, mit stark oxidierenden Eigenschaften, können Schadgase und Gerüche aus der Abluft beseitigt werden. In verschiedenen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass mit einem NTP neben der Anwendung zur Geruchsreduzierung auch Ammoniak abgebaut werden kann (ZHANG, R. et al, 1996; WANG, Y. and GOODRICH, R., 2003, RICE, R. G., 2003), womit eine Anwendung in der Tierhaltung zur Emissionsminderung möglich erscheint.

Ziel des laufenden Forschungsprojektes ist es, die Verwendung eines NTP-Verfahrens für die Stallabluftbehandlung zu untersuchen und basierend auf die gewonnenen Erkenntnisse eine Pilotanlage zur Abluftreinigung zu entwickeln.

## 2 Material und Methoden

Zur Erzeugung eines Nicht thermischen Plasmas (NTP) wird in dem aktuellen Forschungsprojekt ein NTP-Reaktor (Fa. UltraKat, Gaggenau) mit dielektrisch behinderter Entladung eingesetzt. An zwei Elektroden wird ein starkes elektrisches Feld angelegt. Zwischen den Elektroden befindet sich ein Dielektrikum, welches eine Funken- und Bogenentladung verhindert. Beim Anlegen einer hohen Spannung ( $> 1$  kV) wird die Entladung dielektrisch behindert und die den Entladungsraum durchströmende Luft wird in den Aggregatzustand des Plasmas versetzt (Abbildung 1).

Der NTP-Plattenreaktor besteht aus mehreren baugleichen Modulen die übereinander angeordnet sind. Der Reaktionsraum zwischen den Platten hat ein Volumen von 470 ml. Durch die Optimierung der NTP-Anlage soll die Effizienz der Anlage durch Modifizierung der Reaktorarchitektur oder der Zuluftkonditionierung verbessert werden.

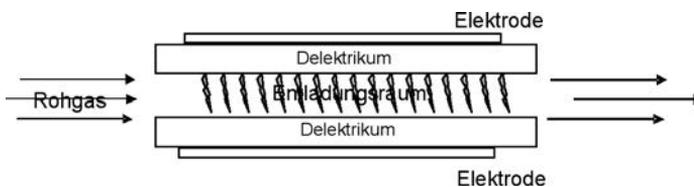


Abb. 1: Schematisch Skizze eines Moduls des NTP-Reaktors mit dielektrisch behinderter Entladung

Die im Entladungsraum ablaufenden chemischen Reaktionen sind sehr komplex. Durch die Spannung werden Elektronen angeregt, die infolge einer Lawinentladung zu einer Ionisierung des Gasgemisches führen. Charakteristisch für ein Nicht-Thermisches-Plasma ist, dass im Gegensatz zum thermischen Plasma nur Elektronen angeregt werden, während die Ionen unbeeinflusst bleiben. Bei den Elektronenstoßprozessen wird mit steigender Anregungsenergie zwischen Rotationsanregung, Schwingungsanregung, elektronische Anregung, Dissoziation und Ionisation unterschieden.

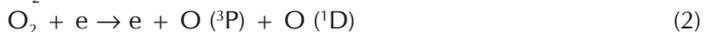
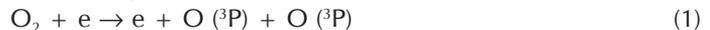
Direkte Abbauprozesse in Form von Elektronenstößen mit Ammoniak haben im NTP nur eine geringe Bedeutung weil diese Gase nur im ppm Bereich auftreten und ein Aufeinander-

treffen nur unwahrscheinlich ist (HONGBIN, 2001). Vielmehr wird die durch Elektronenstöße eingetragene Energie von den weit stärker vertretenden Neutralgasen wie Stickstoff (70 %) und Sauerstoff (21 %) aufgenommen. Die gemittelten Elektronenenergien liegen bei einem dielektrisch behinderten Barrierenreaktor zwischen 1-10eV. Ein Großteil der Energie wird entsprechend der Tabelle 1 in elektronischer Anregung und Dissoziation umgesetzt. Eine Ionisation erfolgt bei Sauerstoff bei 12eV und bei Stickstoff bei 15,6eV. Bereits bei 10,4eV wird H<sub>2</sub>S ionisiert, so dass der Abbau zu H<sub>2</sub> und S sich einfach realisieren lässt.

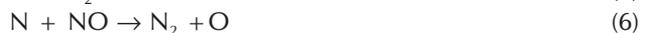
Tab. 1: Elektronenstoßprozesse und erforderliche Anregungsenergien im NTP-Reaktor (verändert und ergänzt nach Rückauf, 2002)

Anregungsstufe	Elektronenstoßprozess	Anregungsenergie [eV]	
		Sauerstoffspezies	Stickstoffspezies
Schwingungsanregung	$AB(vib1) + e^- \rightarrow AB(vib2) + e^-$	0,19	0,29
Elektronische Anregung	$AB + e^- \rightarrow AB^* + e^-$	0,98–6,12	6,23–11,88
Dissoziation	$AB + e^- \rightarrow A + B + e^-$	5,16	9,79
Ionisation	$AB + e^- \rightarrow AB^+ + 2e^-$	12,06	15,60

Im Falle von Sauerstoff wird mit der eingetragenen Energie über eine drei Komponenten Reaktion bereits bei 6–9 eV eine Bildung von Ozon erzielt.



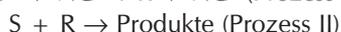
wobei M der dritte Reaktionspartner mit  $M = O_2, O, O_3$  ist. Luftbürtiger Stickstoff kann in Anwesenheit von Sauerstoff oxidiert werden, so dass neben der Anregung zum molekularen Stickstoff auch unerwünschte Gase wie NO, NO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O entstehen.

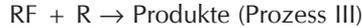


Auch freie Radikale können gebildet werden und stehen für weitere Reaktionen zur Verfügung.



Die o.a. Reaktionsprozesse stellen die Grundlage für die NTP-Abluftbehandlung dar. Drei Prozesse kommen beim Schadstoffabbau im NTP zum Tragen kommen. Im ersten Prozess kommt es zur oben beschriebenen Reaktion zwischen den Neutralgasmolekülen NG (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), in deren folge angeregte Spezies entstehen, die in erster Linie Radikale (R) bilden. Die entstandenen Radikale reagieren mit dem Schadstoff (S) oder werden in Reaktionen mit anderen Gasbestandteilen (Radikalfängern, RF) verbraucht.





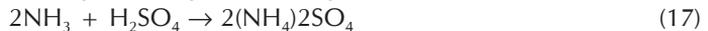
Für die Reaktionen mit Ammoniak kommen mehrere Reaktionen in Betracht die parallel ablaufen können. Für den direkten Ammoniak-Abbau durch eine Ionisierung (Gleichung 13) ist, die zur Verfügung stehende Energie zu gering, so dass andere Reaktionen zu tragen kommen.



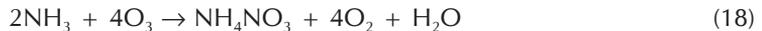
Die direkte Reaktion durch Elektronenstöße hat aus o.g. Gründen vermutlich ebenfalls nur eine geringe Bedeutung



Ein wesentlicher Teil der Umsetzungsprozesse findet im Rahmen des Prozesses II statt. Die bei der Plasmagenese entstehenden Nebenprodukte  $\text{NO}_x$  und  $\text{SO}_x$  reagieren mit  $\text{NH}_3$  und  $\text{H}_2\text{S}$ . Durch eine Reaktion in Anwesenheit von OH Radikalen (Gleichung 9 und 11) und NO (Gleichung 5) erfolgt über das Zwischenprodukt Salpetersäure Ammoniumnitrat oder Ammoniumsulfat.



Ammoniak kann aber auch direkt durch Ozon zu oxidiert werden (Gleichung 18). Wie die Massenströme zwischen den Produkten  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{NO}_3$  verteilt sind, ist derzeit noch ungeklärt.



Das NTP-Abluftreinigungssystem für die Abluftreinigung wird am Forschungszentrum für Veredelungswirtschaft der Georg-August-Universität im Maßstab eines Mastschweinesstalles mit 10 Mastplätzen entwickelt. Der Versuchsstall wird mit einem Ventilatormodul mit Messventilator und Drosselklappe (Fa. Fancom, NL) belüftet. Luft aus dem Abluftvolumenstrom wird mit einem Radiallüfter durch den NTP-Reaktor geleitet und anschließend dem Abluftstrom wieder zugeführt. Die Verwendung eines Radiallüfters ist notwendig, um die Bildung sekundärer Schadgase wie Lachgas und Stickoxyde durch eine hohe Strömungsgeschwindigkeit zu vermeiden. Für die Gasanalytik ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_3$ ) wird ein FTIR-Spektrometer (ThermoNicolet) mit einem Mehrpunktprobennehmer eingesetzt. Die Ventilansteuerung der Probennahmepunkte und die Datenerfassung wird mit dem Programm ASR der Fa. Peus Systems durchgeführt.

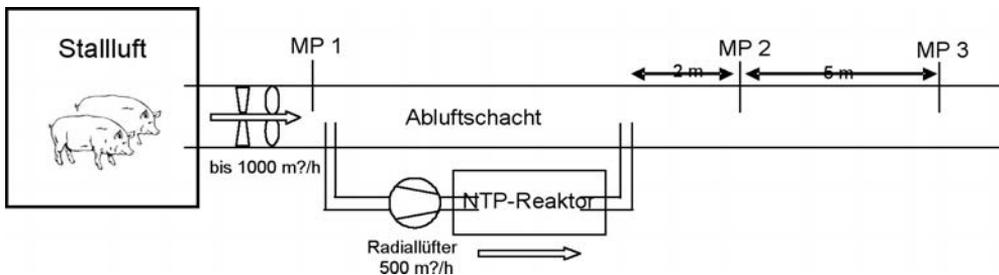


Abb. 2: Schematische Skizze der Abluftreinigungsanlage mit NTP-Reaktor (Nicht thermisches Plasma) und den Messpunkten (MP) für die Gasanalyse in einem Versuchsstall mit 10 Schweinemastplätzen

### 3 Ergebnisse

Die in der Tabelle 2 dargestellten Daten sind erste Ergebnisse der NTP-Abluftreinigungsanlage. Die Messreihen wurden an unterschiedlichen Tagen durchgeführt, so dass der Wirkungsgrad der NH<sub>3</sub>-Reduktion auf die berechnete NH<sub>3</sub>-Fracht bezogen wurde. Unabhängig von der am NTP-Reaktor angelegten Leistung wurde die Ammoniak-Konzentration in der Stallluft (6,6 bzw. 7,1 ppm) um 18 % reduziert. Die Länge der Reaktionsstrecke hatte einen Einfluss auf den Wirkungsgrad. Die Ozon-Konzentration ist auch am MP3 mit 97 bzw. 238 mg/m<sup>3</sup> sehr hoch, so dass das Abluftreinigungsverfahren mit einem Restozonvernichter betrieben werden sollte.

Die von Stickoxyd-Konzentrationen sind in beiden Leistungsstufen am MP2 verglichen mit MP1 und MP2 leicht erhöht. An den Lachgaskonzentrationen ist anhand des Datenmaterials noch kein gerichteter Effekt abzulesen. Eine Erhöhung der N<sub>2</sub>O-Konzentration durch die NTP-Behandlung ist jedoch nicht zu erkennen. Ablagerungen von Ammoniumnitrat entsprechend der Gleichungen 15,16 und 17 wurden aufgrund des kurzen Versuchsintervalls nicht vorgefunden.

Tab. 2: Einfluss der NTP-Abluftbehandlung ein einem Schweinemaststall (10 Mastplätze) auf die nitrogenen Gasverbindungen und dem Wirkungsgrad der NH<sub>3</sub>-Reduktion (WG) in Abhängigkeit von der NTP-Leistung (1250 W, 2500 W) und der Reaktionsstrecke (MP1, Rohgas; MP1 = Reingas nach 2 m, MP2 = Reingas nach 5 m)

NTP [W]	MP	Luftvol. Strom [m <sup>3</sup> /h]	O <sub>3</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	N <sub>2</sub> O [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NH <sub>3</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	WG*
	1	818	0	1,41	0,98	6,60	
1250	2	818	99	0,95	3,82	6,17	6 %
	3	818	97	1,65	1,88	5,39	18 %
	1	645	8	2,12	0,35	7,11	
2500	2	651	238	0,12	1,79	6,54	7 %
	3	645	238	0	0,47	5,84	18 %

\* der Wirkungsgrad bezieht sich auf die berechneten NH<sub>3</sub>-Frachten.

### 4 Diskussion

Die Reduktionsleistung bezüglich des Ammoniaks ist in der untersuchten NTP-Anlage unter dem Aspekt der eingesetzten Energie zum derzeitigen Stand der Entwicklung noch gering. Als Indikator für die Intensität der Plasma Erzeugung kann Ozon herangezogen werden. Wird die NH<sub>3</sub>-Reduktion auf die erzeugte Menge Ozon bezogen, kann aus dem Ergebnissen folgende Beziehung formuliert werden:

$$\text{NH}_3 \text{ [mg]} = 0,009 \times \text{O}_3 \text{ [mg]} \quad (19)$$

Anhand von zuvor durchgeführten Laborversuchen (Kosch, 2004) wurde eine doppelt so hohe Abbaurate erwartet. Dies kann in dem größeren Lüftungsquerschnitt begründet sein, der zur Folge hat, dass ein NTP-Radikal und ein Ammoniak-Molekül weniger wahrscheinlich aufeinander treffen. Deshalb sollte die NTP-Abluftreinigung mit anderen Verfahren kombi-

niert werden, um zum einen die hohen Restozongehalte zu vernichten und zum anderen die Umsetzungsraten durch eine Erhöhung der Reaktionsfläche zu vergrößern.

Die erhöhte Stickoxyd-Konzentration am MP2 bestätigt die Hypothese, dass Stickoxyd ein Produkt der Plasmagenese ist und nach Reaktion zu  $\text{HNO}_3$  ein Reaktionspartner für das Ammoniak darstellt.

Eine große Unsicherheit liegt derzeit noch in der Erfassung der nitrogenen Nebenprodukte wie Ammoniumnitrat. Dies kann, ebenso wenig wie Salpeter, nicht mit der FTIR-Spektroskopie erfasst werden, so dass zusätzliche analytische Methoden erarbeitet werden müssen.

## 5 Literatur

HINGBIN, M. CHEN, P. und RUAN, R. (2001):  $\text{H}_2\text{S}$  and  $\text{NH}_3$  Removal by silent discharge Plasma and ozone Combo system, Plasma Chemistry and Plasma processing, Vol. 21, 4.

KOSCH, R., DECKER, A., VAN DEN WEGHE, H. (2004): Application of non-thermal plasma techniques (NTP) to reduce emissions from animal husbandry. International Congress of Animal production in Europe: The way forward in a changing world, ISAH, Saint Malo 11.–13.Oct. 2004, S.67–68.

RICE R. G. (2003): Ozone for Air Treatment – Basic Principles. In: International Ozone Association 16th World Congress, 31.8–5.9.2003 in Las Vegas, S. 1–23.

RÜCKAUF, A. (2002): Zur Entladungscharakteristik und Stoffumwandlung im nichtthermischen Plasma und ferroelektrischen Schüttungsreaktors, Dissertation an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

WANG, Y. und GOODRICH, R. (2003): Destruction of Swine Manure Gases by a Non-Thermal Plasma Reactor. In: International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities, EurAgEng, Horsens 1–4 Juni, S. 444–451.

ZHANG, R., YAMAMOTO, T. und BUNDY, D. S. (1996): Control of Ammonia and Odors in Animal Houses by a Ferroelectric Plasma Reactor. In: IEEE Transactions on Industry Applications 32/1, S. 113–117.

## Computergestützte Simulation einer raumluftechnischen Anlage für einen Schweinemaststall mit 2.000 Tierplätzen zwecks Optimierung wichtiger Stallklimafaktoren und Minimierung von Ammoniakfreisetzungen

### *Computer aided simulation of an air ventilation system of swine fattening barn with 2,000 animal places with regard to the optimization of important factors of stable climate and minimization of ammonia emission*

KARL-HEINZ KRAUSE<sup>1</sup>, STEFAN LINKE<sup>1</sup>, MICHAEL MUSSLICK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Fachbereich Tierproduktion, Am Rennsteig 3, D-99819 Oberellen/Clausberg

**Schlüsselwörter:** Computersimulation, raumluftechnische Anlagen, Stallklima, Ammoniakfreisetzungen, **Keywords:** *Computer simulation, air ventilation system, stable climate, ammonia emission*

### **Zusammenfassung**

Die Aufgabe der Landwirte ist es, die Bevölkerung täglich mit frischen und gesunden Nahrungsmitteln zu versorgen. Bei der Produktion von Fleisch werden an die Tierhalter höchste Anforderungen in punkto Produktqualität gestellt. Neben der Zucht und der Fütterung spielen dabei die Haltungsbedingungen eine bedeutende Rolle. Sie beeinflussen nachhaltig die Tiergesundheit. Das gilt besonders für das Stallklima. Mit Hilfe computergestützter Simulationsverfahren ist es möglich, die Planung raumluftechnischer Anlagen so zu optimieren, dass eine hohe Tiergesundheit gewährleistet werden kann. Das gelingt u. a. dadurch, dass die stallinternen Emissionen, z. B. an Ammoniak, reduziert werden. Ob dann im Nachgang noch ein Biofilter zum Einsatz kommen muss, wird sich zeigen. Nach wie vor ist es die Aufgabe der Tierproduktion, Nahrungsmittel auf gesunde Art und Weise herzustellen.

### **Summary**

Task of the farmers is to provide people with fresh and healthy food. Greatest demands with respect to product quality are expected from animal producers. Besides breeding and feeding, husbandry conditions play an important role. They persistently influence animal welfare. In particular, this applies to stable climate. With the help of computer based simulation techniques it is possible to optimize the planning of air ventilation systems in such a way that a high standard of animal welfare can be guaranteed. This is caused by a reduction of the emission of e. g., ammonia within the animal house. Whether an exhaust air biofilter must be brought into operation will turn out. Nevertheless it is the duty of animal production to generate food in a healthy manner.

# 1 Die Rekonstruktion einer Schweinemastanlage mit 2.000 Tierplätzen

## 1.1 Haltungsbedingungen

Bei dem Untersuchungsobjekt handelt es sich um eine Schweinemastanlage mit 8.000 Tierplätzen. Aufgabe ist es, eine Stalleinheit mit 2.000 Tierplätzen so umzugestalten, dass die Forderungen zum Stand der besten verfügbaren Technik verwirklicht werden. Die Aufstallung der Tiere (Abbildung 1) erfolgt in hygienisch separat abgetrennten Abteilen mit jeweils 240 Tierplätzen. Der Kontroll- und Versorgungsgang verläuft mittig im Stall und separat getrennt zu den einzelnen Abteilen, welche beidseitig kammartig angeordnet sind. In den Abteilen (8 Stück) befinden sich 240 Tierplätze. Je Haltungseinheit (Bucht) werden 24 Tiere gehalten. Die Tiere sind auf einen vollperforierten Schlitzboden aufgestellt. Die Haltungseinheit wird von geschlossenen Kunststoffwänden (0,9 m hoch) begrenzt. In allen Stallabteilen ist eine Rohrentmischung im sog. Badewannenprinzip installiert. Die Tiefe der Flüssigmistkanäle beträgt 0,7 m.

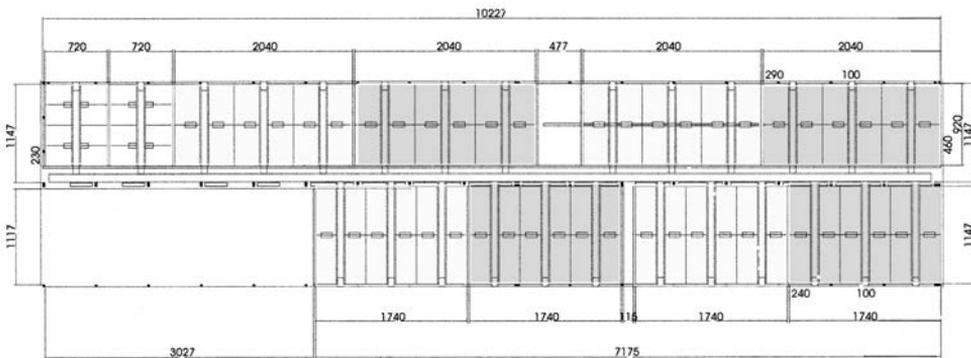


Abb. 1: Grundriss der zu untersuchenden Stalleinheit (WILKE, 2004) [Längenmaße in cm angegeben]  
 Plan of the stable unit to be examined (WILKE, 2004). [Measures of length are given in cm]

Die Breite des zentralen mittigen Versorgungsganges geht zu Lasten der oberen Stallabteile, so dass insgesamt zwischen drei Stallabteiltypen zu unterscheiden ist: einem solchen Typ mit drei Futtergängen bei einer Breite von 11,47 m, einem solchen mit 9,20 m Breite und schließlich einem solchen mit nur einem Futtergang. Die Stallhöhe beläuft sich auf 2,50 m.

Die verfügbare Fläche pro Tier beträgt  $0,8 \text{ m}^2/\text{Tierplatz}$ . Sonstige Einrichtungen und Erfordernisse entsprechen den Anforderungen der Richtlinie 2001/88/EG des RATES (2001) vom 23.10.2001 zur Änderung der Richtlinie 91/630/EWG über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen bzw. der Richtlinie 2001/93/EG der KOMMISSION (2001).

## 1.2 Raumluftechnische (RLT) Anlage

Die Rekonstruktion der raumluftechnische Anlage stellt zweifelsfrei den Schwerpunkt einer jeden Sanierung dar. Da es sich hier um ein komplexes System handelt, sollten bzw. müssen alle Teilkomponenten (Zu-, Abluftführung, Steuerung und Regelung) absolut aufeinander abgestimmt sein. Kleinste Unstimmigkeiten im Zusammenspiel der Systemkomponenten führen in den meisten Fällen zu Funktionsstörungen in den Anlagen bzw. verringern ihren Wirkungsgrad erheblich. Diese „Unebenheiten“ wirken sich später kausal auf die Tiergesundheit aus.

Es stellt sich nun die Frage, warum es keine Patentlösung für diese Problematik gibt. Die Antwort liegt in der Vielzahl der äußeren Einflüsse, die auf das System (Stall) wirken. Die Strömungsverhältnisse in den einzelnen Systemen (Stalleinheiten) können derart unterschiedlich sein, dass es vorkommen kann, dass das Erfolgskonzept A beispielsweise in der Tierhaltungsanlage B zu völlig anderen Ergebnissen (Wirkungsgraden) führt. In zukunftsorientierten Großbetrieben der Tierhaltung führen diese Fehlentscheidungen nicht selten ins finanzielle Desaster. Allein daraus ergibt sich die Notwendigkeit der „Absicherung“ der Investitionsmaßnahme durch computergestützte Simulationen im Einzelfall.

## 2 Planungsstadium

In einer ersten Stallkonzeption wird in der Simulation in jedem Stallabteil unter den Futtergang ein Kanal verlegt, über den Frischluft in den Stall eintreten kann. Damit das geschieht wird an der Außenwand jedes Stallabteils ein Deckenkanal installiert. Dieser weist stirnseitig einen schmalen Längsschlitz auf. In den Deckenkanal münden die Schächte von Abluftventilatoren. Durch ihr Betreiben wird Stallluft über den Längsschnitt abgesogen. Frischluft strömt von außen über die Bodenkanäle in den Stallraum.

In Abbildung 2 ist diese Situation schematisch dargestellt. Vorversuche, KRAUSE und LINKE (2004), lassen bei Türgangöffnungen ein Absaugen oberhalb der Absaugöffnung auf der Außenseite bei beidseitiger Luftzuführung als günstig, d. h. emissionsmindernd, im Hinblick auf die zu erwartenden Ammoniakemissionen erscheinen.

Das angedachte beidseitige symmetrische Ansaugen von Außenluft über die Bodenkanäle erweist sich insofern als problematisch, als das Ansaugen auf der stallinneren Seite von den Druckverhältnissen der an den Zentralgang angeschlossenen Stallabteile abhängig ist. Um diese Abhängigkeit auszuschließen, wird der Zentralgang aus dem Lüftungskonzept genommen. Die Öffnungen auf der Stallinnenseite werden nunmehr durch Rohrleitungen gewährleistet, die durch die angrenzenden Abteile zur jeweiligen Außenwand geführt werden (Abbildung 2).

Simulationstechnisch wird der Betrieb bei Sommerlufrate und bei Winterlufrate erfasst. Das Strömungsgeschehen wird dominant durch die Impulsströmung über die Bodenkanäle geprägt. Bei der Beurteilung der Strömungsfelder wird darauf geachtet, dass zum einen alle Stallabteile durchströmt werden, zum anderen die Ammoniakkonzentrationsverteilung im Bodenbereich möglichst niedrig gehalten wird.

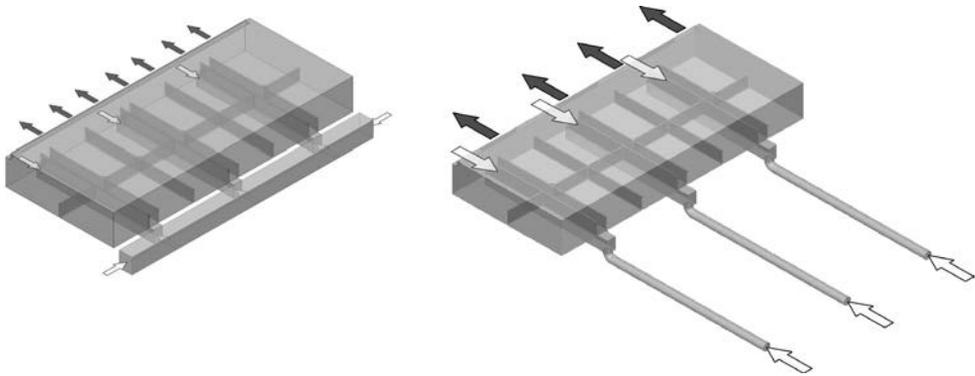


Abb. 2: Perspektivische „gläserne“ Ansicht eines Stallabteils mit Ansaugkanälen für Frischluft unter Flur und deckenseitiger Absaugung. Die Zuluft gelangt von vorne (Gebäudeinneres) und von hinten (Außenwand) über die Bodenkanäle in das Stallabteil. Bei der Ansaugung auf der Innenseite ist man vom Zentralkanal (linke Darstellung) auf eine separate Ansaugung (rechte Darstellung) übergegangen  
*Perspective „transparent“ view of a stable unit with channels to suck in fresh air under floor and channels at the ceiling for sucking out. The air flows into the stable unit from front (interior of the stable) and from behind (outer wall). The sucking in of air from the interior with help of a central channel was changed to such one with separate channels (right side)*

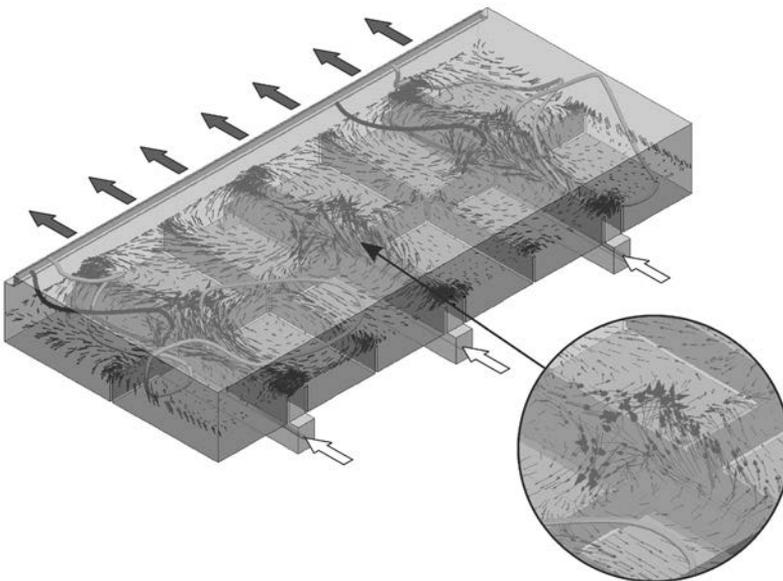


Abb. 3: Die Strömungsvektoren in einer Höhe von 1,1 m über Boden zeigen für die Buchten wirbelartige Bewegungen, die zum mittleren Bodenkanal symmetrisch verlaufen. Der rechte Ausschnitt lässt erkennen, wie die Luftmassen mittig aufeinanderprallen und nach oben umgelenkt werden  
*The flow vectors in the height of 1.1 m above ground show whirls in the boxes symmetrical to the middle underfloor channel. The right detail shows how the air masses collide and turn upwards*

### 3 Realisierung

Entsprechend den Simulationsergebnissen wird die RLT-Anlage wie folgt installiert (Abbildung 4). Die Belüftung der Stalleinheiten erfolgt im Unterdruckverfahren. Die Zuluft wird aus dem Dachraum angesaugt und beidseitig über Kanäle unter Flur in die Abteile geführt. Dabei wird darauf geachtet, dass alle 6 Zuluftkanäle (je Abteil) bauseitig völlig identisch sind. Somit ist annähernd gewährleistet, dass die Zuluft in gleicher Geschwindigkeit in die Abteile einfällt bzw. diese – von der rechten bzw. der linken Seite kommend – in der Mitte der Abteile aufeinander trifft (Abbildung 3). Die Zuluft strömt danach vom Versorgungsgang kommend über die Buchtenwände in die einzelnen Haltungseinheiten (Buchten).

Die Abluft wird über Kanäle (0,8 m x 1,2 m) mittels zweier Ventilatoren abgesaugt. Die gleichmäßigen Öffnungsschlitze im Kanal tragen zur gleichmäßigen Absaugung der Abluft bei. Um den Druck bei wechselnden Volumenströmen (Regelgröße ist die Temperatur) annähernd gleich zu halten, wird der Querschnitt der Abluftschlitze drehzahlabhängig über Stellmotoren variiert. Das gesamte Anlagensystem wird vollautomatisch über die Temperatur (innen und außen) gesteuert.

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist die quasikontinuierliche Ermittlung der Emissionskonzentration ( $\text{NH}_3$ ) in den einzelnen Buchten bzw. der Emissionsmassenstrom im Abluftkanal. Aufgrund bautechnischer zeitlicher Verschiebungen liegen diese Ergebnisse zum Berichtstermin noch nicht vor. Voruntersuchungen an einer annähernd prinzipiell vergleichbaren Anlage in Thüringen (Schweinemast) ergaben durchschnittliche Ammoniakemissionskonzentrationen im Tierbereich von 4 bis 10 ppm (Messperiode Juli 2004).

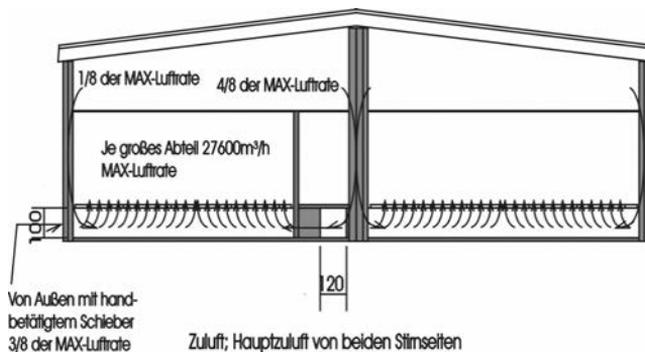


Abb. 4: Schematische Darstellung der RLT-Anlage hinsichtlich der Zuluftkanäle. (WILKE 2004)  
 Scheme of the air ventilation system with respect to the incoming air channels. (WILKE 2004)

### 4 Zusammenfassende Wertung

Die Simulationstechnik erlaubt es, vor der Bauwirklichkeit bestimmte Situationen zu erfassen. Dabei hat sich gezeigt, dass noch während der Baumsetzung mit Planänderungen zu rechnen ist, wie z. B. bei der Ermittlung der Abmaße für den Absaugkanal an der Stalldecke.

Es ist die Flexibilität in der Simulation, konkret Geometrien einzubinden, wie sie vor Ort auftreten. In dem hier gezeigten Beispiel ist kein Neustall errichtet, sondern ein Altstall saniert worden. Für die Simulationen wird das Programmsystem COMET verwendet.

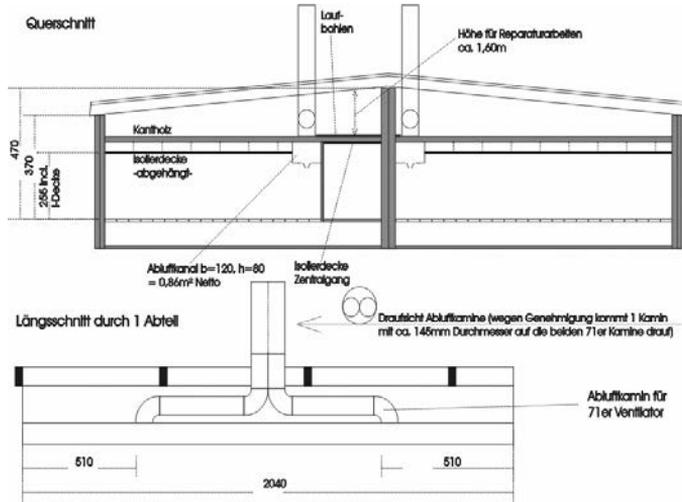


Abb. 5: Quer- und Längsschnitt der RLT-Anlage mit Blick auf die Realisierung der Absaugkanäle (WILKE 2004) *Cross- and length-section of the air ventilation system with view on the realization of the channels for sucking out. (WILKE 2004)*

## 5 Literatur

RICHTLINIE 2001/88/EG des RATES (2001): Richtlinie 2001/88/EG des RATES vom 23.10.2001 zur Änderung der Richtlinie 91/630/EWG über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (Artikel 1); Amtsblatt der EGL 316/1 bis 316/4 vom 01.12.01.

RICHTLINIE 2001/93/EG der KOMMISSION (2001): Richtlinie 2001/93/EG der KOMMISSION vom 23.10.2001 zur Änderung der Richtlinie 91/630/EWG über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (Artikel 1); Amtsblatt der EGL 316/36 bis 316/38 vom 01.12.01.

KRAUSE, K.-H.; LINKE, S. (2004): Airborne substances in animal houses – a problem for human and animal welfare : preliminary abstract. In: Technologisch Instituut (eds) AgEng 2004 Conference Engineering the Future : September 12–16, 2004, Leuven, Belgium ; book of abstracts ; part 2. Leuven : Technologisch Instituut, pp 546-547.

WILKE, H.-J. (2004): Entwurfsplanung der raumluftechnischen Anlage der BSK Schweinemast GmbH Urleben/ Thüringen, Entwurfsplanung ULN 10-10, Rüdigershagen.

# Theoretical evaluation of ammonia scrubbers for governmental approval

## *Theoretische Evaluation von Ammoniak-Wäschern für die staatliche Genehmigung*

ROLAND W. MELSE, HANS C. WILLERS

Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations (A&F), PO Box 17, NL-6700 AA Wageningen

**Keywords:** Ammonia removal, scrubber, animal husbandry  
**Schlüsselwörter:** Ammoniak Entfernung, Wäscher, Viehhaltung

### Summary

*In the Netherlands, about 200 biological and acid scrubbers are in operation for reduction of ammonia emission from animal houses. The procedure for governmental approval of market introduction of a new scrubber system consists of a theoretical evaluation of the scrubber design if  $\text{NH}_3$  removal  $\leq 70\%$  (usually a bioscrubber), and of a measuring program if  $\text{NH}_3$  removal  $\geq 70\%$  (usually an acid scrubber with 90–95 % removal). However, the theoretical evaluation appears to have shortcomings due to the poor quality or absence of required input parameters, which may lead to oversized scrubbers resulting in high investment and operational costs. This can only be overcome by conducting a measuring program. It might be more cost-effective to replace the currently required theoretical evaluation by an experimental and monitoring program. This would probably lead to smaller scrubber size. Sufficient ammonia removal under field conditions can be guaranteed through a maintenance and inspection program that has to be carried out anyway to check if the scrubber is properly operated.*

### Zusammenfassung

*In den Niederlanden sind rund 200 Biowäscher und Säurewäscher im Einsatz um die Ammoniak Emission von Ställen zu reduzieren. Das Genehmigungsverfahren für die Markteinführung eines neuen Wäschersystems besteht aus einer theoretischen Evaluation des Wäscherkonzeptes, wenn die  $\text{NH}_3$  Entfernung  $\leq 70\%$  beträgt (normalerweise ein Biowäscher), und aus einem Messprogramm, wenn die  $\text{NH}_3$  Entfernung  $\geq 70\%$  beträgt (normalerweise ein Säurewäscher mit 90–95 %  $\text{NH}_3$  Entfernung). Allerdings ist die theoretische Evaluation aufgrund der schlechten Qualität oder den Mangel an bestimmten Inputparametern eingeschränkt, was eine Überdimensionierung des Wäschers zur Folge hat mit daran verbundenen hohen Investitions- und Gebrauchskosten. Es ist wahrscheinlich kostensparender um die momentan notwendige theoretische Evaluation durch ein experimentelles Untersuchungsprogramm zu ersetzen. Das würde voraussichtlich zu kleineren Wäschergrößen führen. Gleichzeitig kann eine ausreichende Ammoniak Entfernung unter Praxisbedingungen durch regelmäßige Instandhaltung und ein Wartungsprogramm, welches zur Kontrolle des Wäschers sowieso ausgeführt werden muss, garantiert werden.*

## 1 Introduction

In the Netherlands, intensive livestock farmers are obliged to implement low-emission housing systems in order to reduce ammonia emissions. Before field implementation, each system has to be acknowledged by the Ministry of Spatial Planning, Housing and the Environment (VROM). After acknowledgement, a system is included in an official list of approved systems, called the RAV list ("Regeling Ammoniak en Veehouderij") (VROM, 2002). This list includes treatment techniques for exhaust air of mechanically ventilated animal houses, i. e. biological scrubbers (or: biotrickling filters) and acid scrubbers. Presently, approximately 45 biological and 160 chemical scrubbers are in operation for ammonia removal in Dutch livestock farming.

Both biological and acid scrubbers consist of a reactor that is filled with packing material. Water is sprayed on top of the packed bed and partly recirculated. Another part is discharged and replaced by fresh water. Air contaminated with ammonia is forced through the filter bed resulting in intensive contact between air and water enabling ammonia transfer from gas to liquid phase.

In a biological scrubber, ammonia transfer from gas to liquid phase is followed by microbial oxidation to nitrite and nitrate (nitrification). It is assumed that the maximum ammonia removal capacity of biological scrubbers is 70 % at reasonable water discharge rates because the capacity is restricted by the biochemical equilibria of nitrification. In an acid scrubber, ammonia is captured by the acid, forming an ammonium salt. Only sulphuric acid is allowed for this purpose in the Netherlands. A minimum water discharge rate is required to prevent precipitation of ammonium sulphate. In a well-designed chemical scrubber operating at a sufficiently low pH, ammonia removal percentages of 95 % or higher can be achieved. An analysis of the state-of-the-art of biological and acid scrubbers is given in SCHOLTENS (1996) and MELSE & WILLERS (2004).

## 2 Approval procedures

### 2.1 Biological scrubbers

If a manufacturer wants to introduce a new type of air scrubber to the Dutch market, there are several routes to governmental approval. If the ammonia removal of the new air scrubber is lower than or equal to 70 %, as is usually the case for a biological scrubber, the current protocol requires a theoretical evaluation of the air scrubber design, assuming that the system design is similar to air scrubbers that have already been implemented and tested in field. The evaluation is carried out by an independent research institute and reported to the manufacturer. The principles of the theoretical evaluation are described in this paper. If the evaluation study proves the new system theoretically meets the asserted ammonia removal percentage, the system is usually included in the next publication of the RAV list.

The reason for implementing a theoretical evaluation procedure was that it is less expensive than an elaborate monitoring program, thus facilitating market introduction of new scrubber designs by both existing and new manufacturers. However, when a manufacturer claims an ammonia removal percentage for a biological scrubber of over 70 %, a theoretical evaluation is not considered sufficient and additional measurements are necessary (see below).

## 2.2 Acid scrubbers

A theoretical evaluation is not sufficient and it is compulsory to carry out a monitoring program if the asserted ammonia removal of the new system is greater than 70 %, e. g. 90 % or 95 %. This is usually the case for acid scrubbers. The protocol for this monitoring program, formerly known as the Dutch "Groen Label" measurements, requires semi-continuous ammonia removal measurements are carried out during two rounds at one farm. For fattening pigs this means two measurement periods four months each, one in winter- and one in summer-time.

Currently, a new protocol for admittance of new systems to the RAV list is in preparation that is expected to be made effective in 2005. The new protocol will probably reduce the measurement efforts for approval of high ammonia removal systems.

## 3 Theoretical evaluation

### 3.1 Design parameters

In order to carry out a theoretical evaluation, the concerning manufacturer of the scrubber system needs to supply all available information on the design and characteristics of the scrubber. This information is summarised in Table 1.

The ammonia load of the scrubber is calculated from the number of animals and the ammonia emission rates that are stated in the RAV (VROM, 2002) for conventional housing systems without low-emission measures. As an example, some of these figures from the current RAV are mentioned in Table 2 for pig and poultry species.

### 3.2 Mass transfer

The theoretical evaluation is based on theoretical and experimental derived relations regarding mass transfer in packed columns. The main part is an estimation of the **theoretical scrubber size** by calculating the Height of Transfer Unit (HTU) and the Number of Transfer Units (NTU) at a known basal area (A):

$$\text{Theoretical scrubber size [m}^3\text{]} = \text{HTU [m]} \times \text{NTU [-]} \times \text{A [m}^2\text{]}$$

HTU is a measure of the efficiency of mass transfer in the system and is calculated from the packing characteristics, including specific area ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ), packing factor ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ), sphericity, and from the coefficients for dissociation, diffusion and partition of ammonia. NTU is a measure for the removal percentage that is aimed at; for 70 % removal, NTU is 1.2 and for 95 %, NTU is 3. Finally, the rates of the gas and liquid flow determine if conditions are suitable for the required ammonia removal. These conditions can be expressed as the wetting fraction of the packing and the percentage of flooding. All of these calculations are described in engineering handbooks, such as SINNOT (1999).

To correct for non-ideal circumstances and variations in air flow and ammonia concentration, the estimated required column height is usually multiplied with a **safety margin** of 1.5 to 2 to be sure that the intended ammonia removal will also be achieved in a field application:

$$\text{Actual scrubber size [m}^3\text{]} = \text{Theoretical scrubber size [m}^3\text{]} \times \text{Safety margin [-]}$$

Tab. 1: Information required for theoretical evaluation of acid or biological scrubber

<p>* Functional description of scrubbing system</p> <p>including general design criteria such as: intended ammonia removal (%), what air is to be treated? (pigs, poultry), flow directions: counter-current? cross-current?</p>
<p>* Scrubbing section</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– maximum air flow (m<sup>3</sup>/h)</li> <li>– water recirculation flow (m<sup>3</sup>/h), water discharge flow (m<sup>3</sup>/h)</li> <li>– distribution of water (technical design, type of spray nozzles, specification etc.)</li> <li>– packing material: brand name, type, characteristics such as specific surface area and packing factor (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>), HTU value (m), sphericity (-), bed porosity (-), pressure drop etc.</li> <li>– packing section: volume (m<sup>3</sup>), cross sectional surface (m<sup>2</sup>), height (m) etc.</li> <li>– volume of recirculation water reservoir</li> </ul>
<p>* Dust and suspended materials</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– which precautions have been taken to prevent clogging of the packing? is dust removed from the air before entering the packing?</li> <li>– how often the packing material needs to be cleaned?</li> <li>– can accumulated matter be removed from the recirculation reservoir?</li> </ul>
<p>* Specific info for biological scrubbers:</p> <p>If a separate biological section exists, separate from the scrubbing section:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– maximum ammonia removal capacity of system (g NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>/uur)</li> <li>– specific surface of packing material of biological section(s) (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)</li> <li>– volume of biological section(s) (m<sup>3</sup>)</li> <li>– water flow through biological section (m<sup>3</sup>/uur)</li> <li>– temperature range of operation (winter, summer, measures to be taken)</li> </ul>
<p>* Specific info for acid scrubbers</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– what acid is used?</li> <li>– dosing system: technical description, control system, setpoints</li> <li>– pH and EC measurements: can readings be checked? calibration?</li> <li>– how can freezing of acid supply be prevented?</li> </ul>
<p>* Miscellaneous</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– detailed description of all monitoring and controlling systems that are used for operation</li> </ul>

Tab. 2: Example of ammonia emission numbers for some pig and poultry species (VROM, 2002)

Animal species (code)	Emission (kg NH <sub>3</sub> /animal place/year)
Dry and pregnant sows (D 1.3.13)	4.2
Farrowing sows (incl. piglets until weaning) (D 1.2.16)	8.3
Weaned piglets (D 1.1.15.1)	0.6
Growing-finishing pigs (D 3.4.1)	2.5
Rearing pullets (battery housing) (E 1.10)	0.045
Layer breeders (battery housing) (E 2.13)	0.100
Broilers (E 5.6)	0.080

## 4 Discussion

The procedure of using a theoretical evaluation in order to simplify the process of governmental approval, has three major shortcomings.

For many common **random packings**, e. g. Pall rings, Raschig rings etc., characteristics have been experimentally determined in the past. Based on these **packing characteristics** the HTU value can be calculated as described above. However, many scrubber manufacturers design scrubbers with structured packings because in general **structured packings** have a lower pressure drop and a higher mass transfer efficiency. This results in a lower HTU and thus a smaller scrubber size. Unfortunately, the characteristics of many of these structured packings are not known. Whether a theoretical calculation of HTU can be made in such cases, depends on the amount and quality of the additional information that is given by the applicant, e.g. lab experiences, measurements etc. and on the differences between the design of the new scrubber compared to the design of scrubbers that have already been approved and tested in the field.

The second shortcoming is the lack of a sound theoretical basis for the value of the applied **safety margin**. Usually no measurements are available to support this value. However, the application of the safety margin determines the required scrubber size to a large extent and thus substantially influences investment and operational costs.

Finally, the aspect of **bed clogging** and dust removal cannot be sufficiently assessed in a theoretical study, because of the large variation in dust emissions between animal houses. Therefore, this aspect is not included in the theoretical evaluation and the manufacturer of the scrubber is held responsible for taking sufficient measures to prevent accumulation of solids in the system. In our opinion, the packing of a well designed scrubber should not have to be cleaned more than twice a year to prevent clogging.

To overcome the shortcomings of the theoretical evaluation, it is necessary to improve the quality of the input parameters. The characteristics of a new packing material can be determined in a laboratory-scale setup using synthesized air. A valid value for a safety margin, however, can only be determined by long term measurements of a full scale scrubber application under field conditions.

Furthermore, even well designed and approved systems, it needs to be operated properly to guarantee sufficient ammonia removal. Malfunction of scrubbers in the field may occur, e. g. due to clogging and tunnelling, inhibition by high ammonia and nitrite concentrations (biological scrubber), and insufficient acid supply (acid scrubber). Therefore, it is necessary that the operation of a scrubber system is embedded in a service and maintenance contract and that, at least on a yearly basis, inspection is carried out by an independent authority (see STICHTING GROEN LABEL, 1999, 2000). The maintenance contract and the inspection visits imply ammonia removal measurements, sampling and analysis of the drain water, and inspection of process control parameters. Although maintenance contracts and yearly inspections for air scrubbers are mandatory in the Netherlands, often they are not implemented endangering the success of ammonia removal by air scrubbing.

## 5 Conclusion

The theoretical evaluation of scrubber design, which is used for approval by Dutch authorities, has some shortcomings that still necessitate to conduct a measuring program. This program consists of laboratory experiments and long-term ammonia removal measurements for the approval procedure, and of monitoring ammonia removal of the scrubber during field operation.

It might be more cost-effective to replace the currently required theoretical evaluation by an experimental and monitoring program. The use of a safety margin that may wrongfully lead to oversized scrubbers and high investment and operational costs can thus be avoided. Sufficient ammonia removal under field conditions should be guaranteed through maintenance and inspection.

## 6 References

MELSE, R. W.; WILLERS, H. C. (2004): Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Fase 1: Techniek en kosten. Rapport 029. Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen UR, Wageningen. ISBN 90-6754-739-5. Available at <http://www.stalemissies.nl>.

SCHOLTENS, R. (1996): Inspectie van luchtwassystemen voor mechanisch geventileerde varkensstallen. Intern verslag. IMAG, Wageningen.

SINNOT, R. K. (1999): Coulson & Richardson's Chemical Engineering. Volume 6. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK. ISBN 0 7506 4142 8.

STICHTING GROEN LABEL (1999): Bijlagen behorende bij biologische luchtwassers, d.d. 4 november 1999. Secretariaat Stichting Groen Label, Rijswijk. [http://www.infomil.nl/contents/pages/22434/bijlage\\_behorende\\_bij\\_biologische\\_luchtwassers.pdf](http://www.infomil.nl/contents/pages/22434/bijlage_behorende_bij_biologische_luchtwassers.pdf).

STICHTING GROEN LABEL (2000): Bijlagen behorende bij chemische luchtwassers, d. d. 15 juni 2000. Secretariaat Stichting Groen Label, Rijswijk. [http://www.infomil.nl/contents/pages/22434/bijlage\\_behorende\\_bij\\_chemische\\_luchtwassers.pdf](http://www.infomil.nl/contents/pages/22434/bijlage_behorende_bij_chemische_luchtwassers.pdf).

VROM (2002): Regeling ammoniak en veehouderij. Staatscourant 1 mei 2002, nr. 82. <http://www.infomil.nl/contents/pages/23155/ravmei2002.pdf>.

## Wirksamkeit von Ureaseinhibitoren in der Milchviehhaltung *Effectiveness of urease inhibitors in dairy barns*

ANNETT REINHARDT-HANISCH<sup>1</sup>, MARTIN LEINKER<sup>1</sup>, EBERHARD HARTUNG<sup>1</sup>,  
EBERHARD VON BORELL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik (440), Garbenstraße 9, D-70599 Stuttgart

<sup>2</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Tierzucht und Tierhaltung mit Tierklinik, D-06099 Halle/Saale

**Schlüsselwörter:** Ammoniak, Urease, Ureaseaktivität, Ureaseinhibitoren  
**Keywords:** Ammonia, urease, urease activity, urease inhibitors

### Zusammenfassung

Die vorliegenden Forschungsarbeiten haben den praxistauglichen Einsatz von Ureaseinhibitoren zur Minderung der Freisetzung von  $\text{NH}_3$  aus der Rinderhaltung zum Ziel. Für die unterschiedlichen Fragestellungen werden drei unterschiedliche Methoden entwickelt und angewandt: das Behälter-Wasserbad-Messsystem (BeWaSys) dient zur Untersuchung der Dosis-Wirkungsbeziehungen von Ureaseinhibitoren im Labor, mit dem Schnelltest erfolgt die Bestimmung der Ureaseaktivität auf Bodenoberflächen und mit dem Windtunnel-Wasserbad-Messsystem (WiWaSys) wird die Wirkung von Ureaseinhibitoren unter stallähnlichen Verhältnissen zunächst im Labor untersucht.

In den Untersuchungen mit dem BeWaSys wurden Dosis-Wirkungsbeziehungen von Ureaseinhibitoren in Abhängigkeit von der Temperatur festgestellt. Der Schnelltest zeigte nur eine geringe Abhängigkeit der Ureaseaktivität von den Bodenbelägen, ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Verschmutzung und der Ureaseaktivität konnte nicht nachgewiesen werden. Das WiWaSys ist einsatzfähig, um unterschiedliche Applikationsstrategien unter stallähnlichen Bedingungen zu testen.

### Summary

The aim of the present research project is to test the efficiency of urease inhibitors to reduce ammonia emission from dairy barns. Therefore three different measuring methods are used: a standardised slurry emission monitoring lab to study the dose-effect correlation of several inhibitors under laboratory conditions, a standardised test procedure to determine the urease activity on different floor types and with different fouling intensities under practical conditions, a wind tunnel to test the efficiency of inhibitors depending on different application strategies under laboratory but similar conditions like in a dairy barn.

So far the laboratory results showed different temperature related dose-efficiency relations for several inhibitors. Only slight differences occurred regarding the urease activity of different flooring materials and no distinct correlation between the fouling intensity of the floors under research and the urease activity could be found. The wind tunnel system is validated, so different application strategies can be tested.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

In der Landwirtschaft wird der Stallbereich als eine wesentliche  $\text{NH}_3$ -Emissionsquelle erachtet (HARTUNG, 2001 und GALLMANN, 2003). Der größte Anteil daran wird der Rinderhaltung zugeordnet (ASMAN, 1992), weswegen sich in diesem Bereich Minderungsstrategien besonders effektiv auswirken. Die vorliegenden Forschungsarbeiten haben den praxistauglichen Einsatz von Ureaseinhibitoren zur Minderung der Freisetzung von  $\text{NH}_3$  aus der Rinderhaltung zum Ziel.

## 2 Material und Methode

Um die Wirksamkeit von Ureaseinhibitoren zur Minderung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen zu untersuchen, werden für die unterschiedlichen Fragestellungen drei unterschiedliche Methoden entwickelt und angewandt:

- das Behälter-Wasserbad-Messsystem (BeWaSys) zur Untersuchung der Dosis-Wirkungsbeziehungen von Ureaseinhibitoren im Labor;
- der Schnelltest zur Bestimmung der Ureaseaktivität auf Bodenoberflächen im Labor und in der Praxis;
- das Windtunnel-Wasserbad-Messsystem (WiWaSys) zur Untersuchung der Wirkung von Ureaseinhibitoren unter stallähnlichen Verhältnissen im Labor und in der Praxis.

### 2.1 Behälter-Wasserbad-Messsystem (BeWaSys)

Das BeWaSys besteht aus einem Wasserbad mit max. 28 Messbehältern (5 l-Glasflaschen), die nach dem Prinzip der dynamischen Kammer arbeiten. Die Flüssigmisttemperatur kann mittels des Wasserbades entsprechend den stallüblichen Bedingungen zwischen 5 °C und 25 °C konstant eingestellt werden. Je Versuchsdurchgang werden mehrere, randomisiert verteilte Wiederholungen der unbehandelten und der mit Ureaseinhibitoren behandelten Varianten angesetzt. Für die Untersuchungen wird homogenisierter Flüssigmist von Milchkühen und synthetischer Harnstoff verwendet. Die Zugabe der unterschiedlich konzentrierten Ureaseinhibitorlösung (je 100 ml) erfolgt einmalig zu Beginn des Versuches, anschließend wird viermal Harnstofflösung (20 g/l) im Abstand von 24 h zugegeben. Zur Konzentrationsbestimmung von  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  in der Abluft des jeweiligen Messbehälters wird jeweils ein spezifisches Gasanalysegerät (NDIR) genutzt. Um zusätzlich für jeden Messbehälter eine separate Stickstoff-Bilanz durchführen zu können, wird vor und nach jedem Versuch der Flüssigmist ausgewogen und seine Zusammensetzung analysiert.

### 2.2 Schnelltest

Der Schnelltest zur Bestimmung der Ureaseaktivität dient dazu, zum einen die Ureaseaktivität sowohl unter Praxisbedingungen als auch auf den im WiWaSys zu verwendenden Versuchsbodenplatten zu bestimmen (Kap.2.3).

Zum anderen wurden die für die Versuche im WiWaSys benötigten Versuchsbodenplatten unter kontrollierten Bedingungen vorkonditioniert. Die Messung der Ureaseaktivität erfolgte in Anlehnung an die von BRAAM und SWIERSTRA (1999), BRAAM et al. (1997a) und BRAAM et al. (1997b) entwickelte Schnelltestmethode. Dabei wird ein PVC-Rohr, das zur Beschwerung von einem Betonring umgeben ist, senkrecht auf die zu messende Oberfläche gestellt. Nach Zugabe von Harnstofflösung erfolgt die Bestimmung des in 30 min gebildeten  $\text{NH}_4^+$ . Die  $\text{NH}_4^+$ -Bestimmung erfolgt mit dem Ammoniumküvettest nach Dr. Lange mit einem Photometer LASA® 10. Das in 30 min gebildete Ammonium stellt den Maßstab für die Aktivität der Ureasebakterien in der Lösung bzw. auf der jeweiligen Bodenoberfläche dar.

### 2.3 Windtunnel-Wasserbad-Messsystem (WiWaSys)

Für die Untersuchung der Wirkung von Ureaseinhibitoren unter stallähnlichen Verhältnissen wurde ein Windtunnel-Wasserbad-Messsystem (WiWaSys) im Labormaßstab ( $L = 3,65 \text{ m}$ ,  $B = 0,70 \text{ m}$ ,  $H = 1,55 \text{ m}$ ) entwickelt. Mit diesem können definierte Strömungs- und Temperaturbedingungen sowohl über einstellbare Überströmungsbedingungen als auch über eine Temperierung von Flüssigmistkanal und Oberflächen reproduzierbar eingestellt werden. Durch den modularen Aufbau des Systems besteht die Möglichkeit Stallsysteme mit Spaltenboden und Flüssigmistkanal sowie mit planbefestigten Boden bei unterschiedlichen Füllständen des Flüssigmistkanals realitätsnah nachzubilden und zu simulieren. Bei den hierfür zu verwendenden Versuchsbodenplatten handelt es sich um praxisübliche Fußbodensegmente ( $0,4 \times 0,65 \text{ m}$ ) aus Beton, Gussasphalt und Gummi (vgl. Kap. 2.2).

## 3 Erste Ergebnisse

Die mit den drei Methoden erzielten ersten Ergebnisse werden im folgendem nacheinander einzeln dargestellt.

### 3.1 Behälter-Wasserbad-Messsystem (BeWaSys)

Die Reduktionswirkung der untersuchten Ureaseinhibitoren war sowohl von ihrer Konzentration (Dosis) als auch von der Substrattemperatur abhängig (Abb. 1). Die höchste Reduktion (97 %) erreichte der Ureaseinhibitor D bei einer Substrattemperatur von  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  und einer Konzentration des Ureaseinhibitors von  $0,2 \%$  von  $N_{\text{ges}}$ . Bei einer Substrattemperatur von  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  zeigte sich, dass die Reduktionswirkung des Inhibitors D vor allem im Bereich niedriger Konzentrationen stark nachließ. Der Ureaseinhibitor C erreichte eine maximale Reduktion von  $72 \%$  bei einer Temperatur von  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  und einer Konzentration des Ureaseinhibitors von  $0,2 \%$  von  $N_{\text{ges}}$ . Die Reduktionswerte für den Ureaseinhibitor C lagen bei gleicher Konzentration der Ureaseinhibitoren fast immer unterhalb der Werte des Inhibitors D, d. h. bei gleicher Konzentration erreichte der Ureaseinhibitor D eine höhere Reduktion als C.

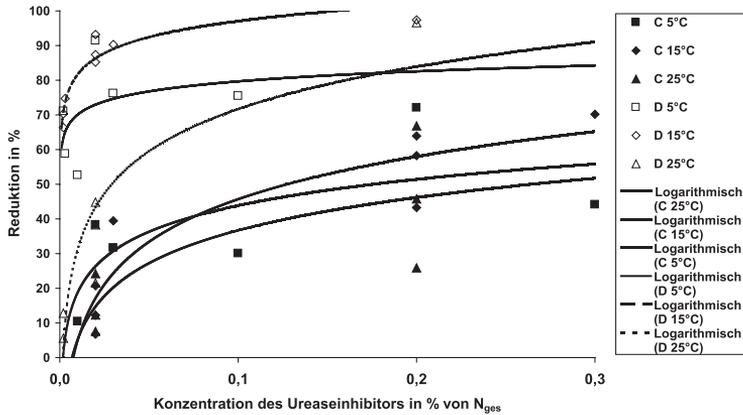


Abb. 1: Reduktion von Ammoniak in Abhängigkeit von der Substrattemperatur und der Konzentration des Inhibitors

*Reduction of ammonia subject to slurry temperature and urease inhibitor concentration*

Parallel zu den bereits beschriebenen Versuchen wurde pro Substrattemperatur (5, 15 und 25 °C) je 1 Langzeitversuch über einen Zeitraum von 3 Wochen durchgeführt. In Abbildung 2 ist beispielhaft der zeitliche Verlauf der Ammoniak-Konzentrationen der verschiedenen Behandlungsvarianten bei einer Substrattemperatur von 15 °C dargestellt.

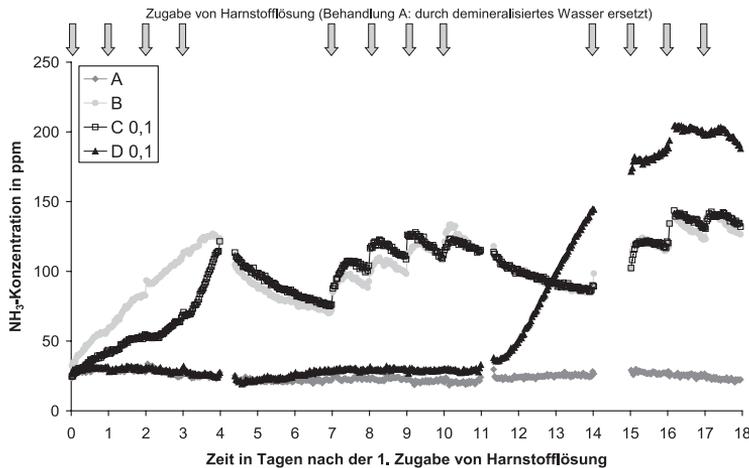


Abb. 2: Versuch zur Wirkung von Ureaseinhibitoren bei einer Substrattemperatur von 15 °C

*Effectiveness of urease inhibitors of 15 °C slurry temperature*

Der Behandlung A wurde kein Ureaseinhibitor und kein Harnstoff zugesetzt (Nullvariante). Sie zeigt die natürliche Freisetzung von NH<sub>3</sub> aus dem Flüssigmist. Bei der Behandlung B wurde auf dem unbehandelten Flüssigmist Harnstoff zugegeben um die maximale Freisetzung von NH<sub>3</sub> nach Zugabe von Harnstofflösung zu erfassen. Wie bei Behandlung B erkennbar, stieg die Konzentration von NH<sub>3</sub> sofort nach der Harnstoffaufgabe an. Durch Zugabe des Ureaseinhibitors C konnte die Freisetzung von NH<sub>3</sub> im Vergleich zu Behandlung B jedoch

nur etwas gehemmt werden (ca. 3 Tage). Der Ureaseinhibitors D hemmte die Freisetzung von  $\text{NH}_3$  deutlich über ca. 11 Tage. Eine Übersicht über die Wirkdauer der Ureaseinhibitoren bei verschiedenen Substrattemperaturen gibt Tabelle 1.

Tab. 1: Zeitdauer der Ureaseinhibitorwirkung bei einer Dosierung von 0,2 % von  $\text{N}_{\text{ges}}$  (15 und 25 °C) bzw. 0,1 % von  $\text{N}_{\text{ges}}$  (5 °C) und bei unterschiedlichen Flüssigmisttemperaturen  
*Duration of urease inhibitor effect with a dosing of 0.2 % of  $\text{N}_{\text{ges}}$  (15 and 25 °C) or 0.1 % of  $\text{N}_{\text{ges}}$  (5 °C) and at different temperature in the slurry*

Substrattemperatur	Behandlung C	Behandlung D
5 °C	7 Tage	kein Anstieg
15 °C	3 Tage	11 Tage
25 °C	1–2 Tage	5 Tage

### 3.2 Schnelltest

Mit dem Schnelltest wurde die Ureaseaktivität auf unterschiedlichen Bodenbelägen bestimmt. Abbildung 3 fasst die Ureaseaktivitätsergebnisse nach Materialgruppen geblockt zusammen.

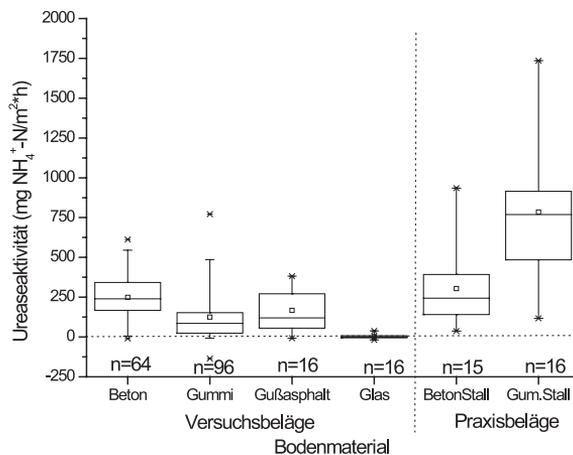


Abb. 3: Ergebnisse der Ureaseaktivitätsuntersuchungen zusammengefasst für unterschiedliche Bodenmaterialien und Versuchs- und Praxisbeläge (Zeitraum 02.08.–08.09.2004)  
*Urease activity of different flooring materials for laboratory and practical conditions (duration 02.08.–08.09.2004)*

Bei den Versuchsbodenbelägen liegen die Ureaseaktivitätswerte für Gummi am niedrigsten, bei Glas als einfach zu reinigende Oberfläche zeigt sich keine Aktivität. Unter Praxisbedingungen liegt die Ureaseaktivität etwas höher als auf den Versuchsbodenbelägen, wobei der Beton (Beton Stall) in der Praxis seit längerer Zeit nicht kontinuierlich verschmutzt wurde.

In Intensitätsversuchen wurden die Versuchsbodenplatten unter reproduzierbaren Bedingungen unterschiedlich stark verschmutzt. Dabei konnten keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Intensität der Verschmutzung und der Ureaseaktivität festgestellt werden.

### 3.3 Windtunnel-Wasserbad-Messsystem (WiWaSys)

Die Versuche zum Aufbau und zur Validierung des WiWaSys haben gezeigt, dass der Spaltenboden und Flüssigmistkanal wie unter Stallbedingungen in der Praxis von der Luft durchströmt werden. Es lassen sich im WiWaSys genau, konstant und reproduzierbar Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0,1 bis 1,0 m/s einstellen, d. h. das Messsystem ist einsatzfähig, um unterschiedliche Applikationsstrategien von Ureaseinhibitoren zu testen.

## 4 Ausblick

Im Verlauf des Projektes sollen noch

- weitere Versuche zur Dosis-Wirkungsbeziehung von Ureaseinhibitoren mit dem BeWaSys durchgeführt werden,
- die ureaseaktivitätsabhängige Ammoniumbildung pro Flächeneinheit (m<sup>2</sup>) und die Ammoniakfreisetzung pro m<sup>2</sup> durch Vergleichsversuche mit dem Schnelltest und dem WiWaSys bestimmt werden sowie
- durch Laborversuche mit dem WiWaSys die Übertragbarkeit der Ergebnisse vom BeWaSys zur temperaturabhängigen Dosis-Wirkungsbeziehung in Abhängigkeit von Applikationsdosis und -frequenz sowie der Ureaseinhibitorwirkdauer für stallähnliche Bedingungen überprüft werden.

Im Anschluss daran wird die Applikationstechnik für den Praxiseinsatz optimiert und dient somit zur Entwicklung einer temperaturabhängigen und zeitgesteuerten sowie praxistauglichen Applikationstechnik zum Einsatz von Ureaseinhibitoren in Nutztierställen.

## 5 Literatur

- ASMAN, W. A. H. (1992): Ammonia emission in Europe: Updated emission and emission variations. National Institute of Public Health and Environmental Protection Bilthoven. Report No. 228471008.
- BRAAM, C. R.; SWIERSTRA, D. (1999): Volatilization of Ammonia from Dairy Housing Floors with Different Surface Characteristics. In: J. Agric. Engng. Res. No. 72, p. 59–69.
- BRAAM, C. R.; KETELAARS, J. J. M. H.; SMITS, M. C. J. (1997a): Effect of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. In: Netherlands Journal of Agricultural Sciences. No 45, p. 49–64.
- BRAAM, C. R.; SMITS, M. C. J.; GUNNINK, H.; SWIERSTRA, D. (1997b): Ammonia Emission from a Double-Sloped Solid Floor in a Cubicle House for Dairy Cows. In: J. Agric. Engng. Res. No. 68, p. 375–386.
- GALLMANN, E. (2003): Vergleich von zwei Haltungssystemen für Mastschweine mit unterschiedlichen Lüftungsprinzipien – Stallklima und Emissionen. Dissertation, VDI/MEG 404.
- HARTUNG, E. (2001): Konzeption, Realisierung und Evaluierung einer Versuchseinrichtung zur Entwicklung und differenzierten Beurteilung von Haltungssystemen für Mastschweine. Habilitationsschrift VDI/MEG 392.

# Partikelemissionen aus Tierställen – Zusammensetzung, physikalische Stoffeigenschaften und Quellbeschreibungen

## *Particle Emissions from Livestock Houses – Composition, Physical Characteristics and Description of its Source*

GREGOR SCHMITT-PAUKSZTAT<sup>1, 2</sup>, TILL SCHNEIDER<sup>1</sup>, OLIVER WALLENFANG<sup>1</sup>,  
WOLFGANG BÜSCHER<sup>1</sup>, BERND DIEKMANN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Landtechnik, Universität Bonn, Nussallee 5, D-53115 Bonn

<sup>2</sup> Physikalisches Institut, Universität Bonn, Nussallee 12, D-53115 Bonn

**Schlüsselwörter:** Staub, Emissionen, Quellstärke

**Keywords:** Dust, emissions, emission rate

### **Zusammenfassung**

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft setzt in ihrer Fassung aus dem Jahr 2002 erstmals Grenzwerte für die Emissionen und Immissionen luftfremder Stoffe wie Staubpartikel aus Tierställen fest. Zur Gewährung rechtlicher Sicherheit bei der Standortfindung und -sicherung dienen Modellrechnungen der Immissionsprognose. Eine korrekte Modellierung der Staubausbreitung erfordert Kenntnisse über die Zusammensetzung der freigesetzten Stäube, ihre physikalischen Eigenschaften sowie die Partikelquellstärke.

Am Institut für Landtechnik der Universität Bonn werden in Zusammenarbeit mit dem Physikalischen Institut die Eigenschaften von Stäuben verschiedener Tierarten untersucht. Dazu gehört neben Masse, Dichte und Form der Partikel die Sedimentationsgeschwindigkeit. Zur Quellstärkenbestimmung werden verschiedene Verfahren bei zwangsgelüfteten und freigelüfteten Ställen eingesetzt.

### **Summary**

The current version of the Technical Rules for Air Pollution, published in 2002, is the first to define critical values for dust emissions and immissions that apply to livestock houses. Theoretical models for predictions of immissions grant legal coverage for the localization of livestock houses. An accurate modelling of airborne particles demands information about the particle configuration, the physical properties and source strength.

The physical properties of particles from different animal species are analysed at the Institute for Agricultural Engineering in cooperation with the Institute of Physics at Bonn University. The research includes particle mass, density and shape as well as the sedimentation velocity. The determination of source strengths covers different methods for mechanically forced and naturally ventilated livestock houses.

## 1 Einleitung

Aus Stallanlagen werden Bioaerosolfrachten (Staub und Mikroorganismen) emittiert, deren Auswirkungen auf Mensch und Tier bislang nur in Ansätzen untersucht worden sind. Die neue Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-LUFT, 2002) setzt erstmals Grenzwerte für die Emissionen und Immissionen luftfremder Stoffe aus Tierställen. Zur Gewährung rechtlicher Sicherheit bei der Standortfindung und -sicherung dienen Modellrechnungen der Immissionsprognose. Insbesondere zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten bei Geruchsimmissionen werden routinemäßig Ausbreitungsmodelle verwendet.

Die Arbeitsgruppe „Partikelemissionen“ des Instituts für Landtechnik der Universität Bonn ist Teil des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung. Sie bearbeitet u. a. den Themenbereich der Ausbreitung von Gasen und Stäuben aus Stallanlagen, um auch Fragen der Staubbelastungen zu klären. Unter anderem wird ein computergestütztes Modell zur Ausbreitungsmodellierung von Partikeln erstellt.

## 2 Ausbreitungsmodellierung

Das Modell NaSt3D (Navier Stokes in 3 Dimensionen) wurde am Institut für Landtechnik in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Mathematik und dem Physikalischen Institut soweit modifiziert, dass es für die Emissions- und Immissionsprognose aus landwirtschaftlichen Quellen einsetzbar ist.

Die Berechnung erfolgt zeitabhängig, sodass Konzentrationsfluktuationen, wie sie zur Bestimmung der Geruchsbelästigung wichtig sind, direkt berechnet werden können. In Tracergasversuchen mit Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) wurde die dafür ausreichende Approximationsgüte nachgewiesen (WALLENFANG et al., 2000).

Die Ausbreitung der luftfremden Stoffe wie z. B. Staub wird dabei mit virtuellen Partikeln durchgeführt, die in der Luftströmung freigesetzt werden. Dieses Verfahren erlaubt es, physikalische Stoffeigenschaften einfach zu simulieren. NaSt3D wurde dahingehend modifiziert, dass es möglich ist, Stofffraktionen getrennt nach ihrem Sedimentationsverhalten zu simulieren (Abbildung 1).

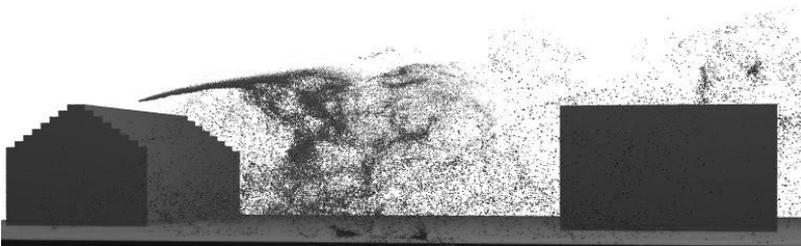


Abb. 1: Ausbreitungssimulation verschiedener Partikelfraktionen mit NaSt3D

Das Anhaften an Oberflächen kann ebenso simuliert werden, wie die Durchströmung von durchlässigen Hindernissen wie Hecken oder Bäumen. Die Modellierung von Partikeln als „nicht luftähnlicher Stoff“ unterscheidet NaSt3D von anderen Modellen. Insbesondere im Nahbereich von Stallanlagen ist eine präzisere Bestimmung der zu erwartenden Staub- und

Keimimmission möglich. Auch kann die Wirksamkeit von emissionsmindernden Maßnahmen im Voraus ermittelt werden, um Belästigungen von Anwohnern und eine Keimübertragung von Stall zu Stall zu minimieren.

Um eine korrekte Modellierung der Staubausbreitung vornehmen zu können, ist die Einteilung der Partikel in verschiedene Größenfraktionen notwendig. Dazu fehlen belastbare Daten, die zur Ausbreitungssimulation notwendig sind.

### 3 Zusammensetzung von Stäuben und physikalische Eigenschaften

Zur Bestimmung der Staubzusammensetzung gibt es eine große Bandbreite von Verfahren, die hier im einzelnen nicht erläutert werden können. Die Untersuchungen der Arbeitsgruppe des Instituts für Landtechnik decken die nicht belebten Bestandteile des Staubs sowie einen Teil der belebten Bestandteile wie Schimmelpilze.

Die Untersuchungen bzgl. der Zusammensetzung der unbelebten Bestandteile werden in der Regel mit einem Aerosolspektrometer der Firma GRIMM Aerosoltechnik GmbH, Ainring, sowie mit einem achtstufigen Andersen-Sammler der Firma Schaefer Technologie, Langen, durchgeführt.

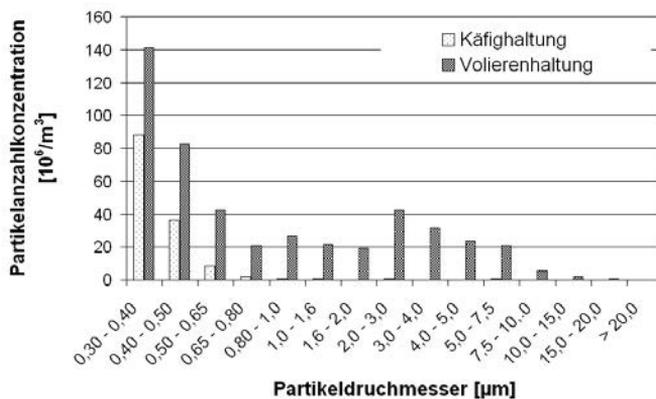


Abb. 2: Staubzusammensetzung in typischen Legehennenställen mit Käfig- und Volierenhaltung

Die Staubzusammensetzung einer Tierart z. B. Legehenne variiert bei verschiedenen Halteverfahren so stark, dass zur korrekten Ausbreitungsmodellierung nach den Halteverfahren unterschieden werden muss (Abbildung 2).

Derzeit wird eine Methode zur empirischen Bestimmung der physikalischen Eigenschaften von Partikeln (Größe, Masse, Dichte) und deren Sedimentationsgeschwindigkeit entwickelt. In einer Kammer werden Staubpartikel verwirbelt und in einen Sedimentationszylinder freigesetzt; dort sinken sie zu Boden. Mit einem Aerosolspektrometer wird die Partikelanzahl nach Größe fraktioniert bestimmt. Größere Partikel erreichen den Boden des Sedimentationszylinders in der Regel vor kleineren Partikeln. Dies ist jedoch stark abhängig von der Dichte und der Form der Partikel. Daher kann neben der Sedimentationsgeschwindigkeit auf die Partikeleigenschaften geschlossen werden.

Neben dieser indirekten Bestimmungsmethode werden die Staubpartikel nach Fraktionierung im Andersen-Sammler mikroskopisch auf ihre Form untersucht. Dadurch können die Ergebnisse aus den Versuchen mit dem Sedimentationszylinder ergänzt werden.

Die Staubzusammensetzung ist stark von klimatischen Parametern abhängig. Messungen in einem Volierenstall für Legehennen zeigten Änderungen der Zusammensetzung bei unterschiedlichen Luftfechtigkeiten, insbesondere bei kleinen Partikelfractionen. Kleine Partikel scheinen bei hoher Luftfeuchtigkeit zu verkleben und werden daher größeren Partikelfractionen zugeordnet.

## 4 Quellstärkenbestimmung

Tierart- und Haltungsverfahren-spezifische Quellstärken liefern hohe Genauigkeiten in Ausbreitungsrechnungen. Die Quellstärkenbestimmung setzt zwei grundlegende Kenntnisse voraus: der aus dem Stall emittierte Luftvolumenstrom sowie die Staubkonzentration in Abhängigkeit der Partikelgröße müssen bekannt sein. Bei den Haltungsverfahren sind zwangsgelüftete Ställe und frei gelüftete Ställe grundsätzlich zu unterscheiden.

Bei Zwangsentlüfteten Ställen ist zum einen der Volumenstrom in den Abluftschächten z. B. mit Hilfe von Messventilatoren zu ermitteln. Zum anderen muss die Partikelkonzentration im Abluftschacht isokinetisch gemessen werden (VDI 2066). Ein Gleichsetzen der Innenraumkonzentration mit der Abluftkonzentration ist nicht sachgerecht (SCHMITT et al, 2004).

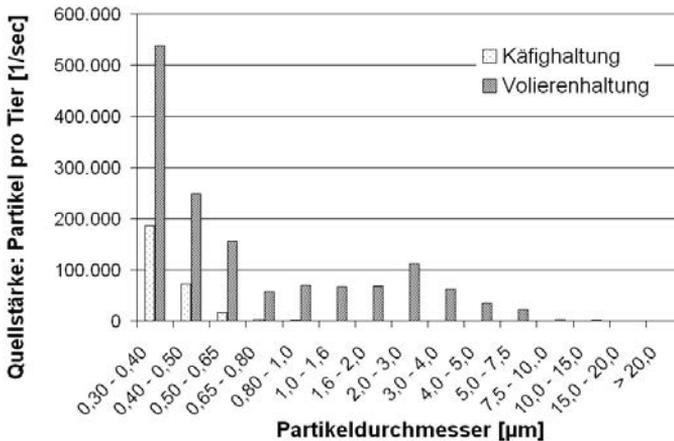


Abb. 3: Partikelquellstärke bei Legehennen in Käfig- und Volierenhaltung

Für Legehennen in Käfig- und Volierenhaltung wurde eine Quellstärkenbestimmung bei zwangsentlüfteten Ställen durchgeführt. Abbildung 3 zeigt die freigesetzte Zahl von Partikeln pro Tier bei voller Lüftungsintensität der jeweiligen Anlage. Im Käfigstall befanden sich zur Zeit der Probenahme ca. 39.600 Tiere, im Volierenstall ca. 11.100 Tiere auf gehäckseltem Stroh.

Frei gelüftete Ställe bilden durch die windinduzierte Lüftung diffuse Emissionsquellen. Eine Volumenstrombestimmung mit Messventilatoren ist nicht möglich. Zurzeit finden

Messungen des Instituts für Landtechnik der Universität Bonn in einem Putenstall statt, der durch eine Querlüftung mit zusätzlicher Firstlüftung gekennzeichnet ist. Die Volumenstrombestimmung erfolgt indirekt nach der Abklingmethode mit Hilfe der SF<sub>6</sub>-Tracergastechnik. Die Staubkonzentration in der Abluft wird photometrisch ermittelt. Neben der Erhebung der Emissionsdaten werden Einflussgrößen wie Außenklima und Produktionsbedingungen sowie jahres- und tageszeitliche Fluktuationsgrößen erfasst.

## 5 Literatur

BUNDESIMMISSIONSSCHUTZGESETZ: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.07.2002, GMBI (2002), H. 25-27, S. 511–605.

WALLENFANG, O.; BOEKER, P.; CROCE, R.; KOSTER, F.; GRIEBEL, M.; DIEKMANN, B.; SCHULZE LAMMERS, P. (2000) Ausbreitungsmodellierung von Gerüchen mit zeitaufgelösten Modellen. Agrartechnische Forschung 6, S. 15.

VDI RICHTLINIE 2066: Messen von Partikeln, Staubmessungen in strömenden Gasen, DIN VDI Taschenbuch 335 Luft-Analysenverfahren. Emissionstechnik. Staubmessung in strömenden Gasen (1975–1999), ISBN 3-410-14240-1.

SCHMITT, G.; WALLENFANG, O.; BÜSCHER, W.; DIEKMANN, B. (2004): Partikelkonzentrationen in der Stallabluf im Vergleich mit der Innenraumkonzentration. Agrartechnische Forschung 10, Heft 6, S. 105–110.



## Untersuchung und Bewertung von Staub, Endotoxin, Ammoniak und Keimen in ausgewählten Stallsystemen mit überwiegend freier Lüftung *Examination and validation of dust, endotoxine, ammonia and germs in selected stables with predominant naturally ventilation*

FRIEDHELM SCHNEIDER<sup>1</sup>, STEFAN NESER<sup>1</sup>, BERNHARD HAIDN<sup>1</sup>, ANDREAS GRONAUER<sup>1</sup>,  
RUDOLF SCHIERL<sup>2</sup>, ULRICH EGGER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Str. 36, D-85354 Freising

<sup>2</sup> Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München, Ziemssenstr. 1, D-80336 München

<sup>3</sup> Land- und forstwirtschaftliche Berufsgenossenschaft (LBG) Niederbayern/Oberpfalz und Schwaben, Tunnelstrasse 29, D-86156 Augsburg

**Schlüsselwörter:** Staub, Endotoxine, Ammoniak, Keime, Emissionen  
**Keywords:** Dust, Endotoxine, Ammonia, Germs, Emissions

### **Zusammenfassung**

*Emissionen aus Tierhaltungssystemen mit freier Lüftung sind bisher nicht ausreichend untersucht. Ziel der Untersuchung ist die Kombination von zeitlich hochaufgelösten Dauermessungen und standardisierten, ereignisbezogenen Kurzmessungen. So werden die Fragestellungen der Arbeitsmedizin und Tierhygiene mit Aspekten der Umweltwirkung verknüpft. Im Sommer '04 sowie Winter und Frühjahr 2004/'05 werden 13 Ställe in Bayern untersucht. Erfasst werden Tagesgänge von Ammoniak, Staub (PM100, PM10, PM4), Partikelanzahlkonzentration und Stallklimaparametern, sowie parallel dazu Endotoxine und luftgetragene Keime. Erste Ergebnisse der 24-Stunden-Tagesgangmessungen in 10 Betrieben zeigt Tabelle 1, Tabelle 2 stellt Ergebnisse der Kurzzeitmessungen dar.*

### **Summary**

*Emissions from animal husbandry systems with free ventilation are not sufficiently examined. The purpose of the investigation is the combination of temporally high-resolved continuous measurements and standardized, event-referred short measurements. Thus the questions of the occupational medicine and animal hygiene are linked with aspects of the environmental effect. In summer '04, winter and spring 2004/'05 13 stables are examined. Diurnal variations of ammonia, dust (PM100, PM10, PM4), concentration of particles and stable climate parameters, as well as endotoxine and airborne germs are measured. Table 1 and table 2 show first results of the 24-hours-measurement in 10 different farms.*

## 1 Einleitung

Für die Haltung von Rindern, Schweinen und Geflügel existieren mittlerweile eine Vielzahl moderner Stallsysteme mit freier Lüftung, die emissionstechnisch schlecht oder gar nicht untersucht sind. Selbst für etablierte Stallsysteme, wie sie z. B. bei GRIMM et al. (2002) beschrieben sind, fehlen belastbare Emissionswerte.

Ziel der Untersuchung ist die Erfassung und Bewertung von Emissionen in modernen Rinder-, Schweine- und Geflügelstallungen aus Sicht der Arbeitsmedizin, Tiergesundheit und Umweltwirkung. Ein weiteres Ziel ist der Vergleich unterschiedlicher Sammel- und Messmethoden bei der Emissionsmessung von Staub und Schadgasen.

## 2 Material und Methoden

Untersucht werden 13 ausgewählte Ställe in Bayern mit überwiegend freier Lüftung. Die Betriebe sind wie folgt unterteilt: 4 Mastscheine (MS), 4 Milchvieh (MV), 3 Legehennen (LH), 1 Mastputen (MP) und 1 Mastbullen (MB). Mit einer Auflösung von 60 Sekunden werden zeitgleich die Tagesgänge von Ammoniak, einatembarer, thorakaler und alveolengängiger Staubfraktion, Partikelanzahlkonzentration sowie die Stallklimaparameter Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit erfasst. Eingebunden in diese 24-Stundenmessung, sind Parallelmessungen der Staubkonzentration (gravimetrisch, personengetragen und stationär) und die Untersuchungen von Endotoxinen und luftgetragenen Keimen. Die Messkampagnen erfolgen im Sommer 2004 sowie Winter und Frühjahr 2004/2005.

Zum Redaktionsschluss lagen die Ergebnisse der Sommermesskampagne von 10 Betrieben vor. Dies sind: 1) LH, Mobilstall, 2) LH, Warmraum mit integriertem Scharrraum und Außenbereich, 3) LH, Warmraum ohne Scharrraum und angrenzendem Kaltscharrraum, 4) MP, Außenklimastall Rundholz, Modell Weihenstephan, die untersuchten Schweine- und Rinderställe sind klassische Außenklimaställe.

### 2.1 24-Stundenmessung kontinuierlich

Für die 24-Stunden-Tagesgangmessung wurde eine transportable, thermostatisierte Messbox entwickelt, die ein Ammoniakmessgerät, Staubmessgerät und ein Streulichtphotometer beinhaltet. Jedes Gerät verfügt über eine angepasste Probenahmesonde mit möglichst kurzen unverwinkelten Probenluftwegen. Stromversorgung, Pumpen und Datenloggersysteme sind in die Messbox integriert. Die Messwerte werden synchron mit einer Zeitauflösung von einer Minute geloggt.

Die Messung der Ammoniakkonzentration erfolgte photoakustisch mit einem Gerät der Firma ppm-Messtechnik, Chieming, Modell MAC 2040. Die Probenluft wird über einen PTFE-Filter der Firma Schleicher und Schüll, Modell Rezyst 30 mit 5  $\mu\text{m}$ -Porenweite angesaugt und gelangt anschließend direkt über einen ca. 15cm langen Schlauch in die Messzelle. Die Messgenauigkeit liegt bei  $\pm 5\%$  in einem Messbereich zwischen 0,5 und 100 ppm. Das Gerät verfügt über eine Wasserdampfkorrektur.

Für die kontinuierliche Messung der Staubkonzentration wurde ein dreistufiger virtueller Impaktor der Firma Hund, Wetzlar, Modell Respicon TM verwendet. Es werden simultan

die einatembare (PM 100), thorakale (PM 10) und alveolengängige (PM 4) Staubfraktion gesammelt, bei einem Gesamtprobenluftstrom von 3,11 l/min. Zusätzlich wird die Dynamik der Partikelabscheidung jeder Größenfraktion streulichtphotometrisch erfasst. Die Partikelabscheidung erfolgt analog zu den anderen Staubmessungen auf fluorkohlenstoffbeschichteten Borsilikatglasfaserfiltern (37 mm, Fiberfilm, Firma Pall). Die Gravimetrie wurde von der LBG Baden-Württemberg durchgeführt. Die Dauer der Sammlung betrug jeweils mindestens 24 Stunden.

Das für die Messung der Partikelkonzentration verwendete Streulichtphotometer der Firma Grimm, Ainring, Model 1.108 ist ein 2,5 kg leichtes, sehr handliches Gerät (24 cm x 12 cm x 6 cm). Es besitzt als Lichtquelle eine Halbleiter-Laserdiode, mit einer Wellenlänge von 780 nm und detektiert das Streulicht unter einem Winkel von 90°. Die Signalhöhe wird in 15 Kanäle klassifiziert. Die unteren Kanalgrenzen bzw. die entsprechenden optischen Latex-Äquivalentdurchmesser D50 (in  $\mu\text{m}$ ) liegen bei 0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,65 – 0,8 – 1,0 – 1,6 – 2,0 – 3,0 – 4,0 – 5,0 – 7,5 – 10 – 15 und 20. Sie gelten für einen Zählwirkungsgrad von 50 % mit monodispersen Polystyren-Latex-Aerosol. Das Gerät arbeitet mit einem Probenvolumenstrom von 1,2 l/min  $\pm$  5 %. Simultan zu der Partikelmessung werden mit externen Sensoren (Firma Grimm, Modell 1.154) Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit erfasst.

## 2.2 Ereignisbezogene Messungen, diskontinuierlich

Die Bestimmung der Konzentrationen der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktionen erfolgten gravimetrisch. Sämtliche Wägungen der unbeprobten und beprobten Filter wurden ebenfalls von der LBG Baden-Württemberg durchgeführt. Die Staubfraktionen wurden auf fluorkohlenstoff beschichteten Borsilikatglasfaserfilter (37 mm, Fiberfilm, Firma Pall) abgeschieden. Diese Filter absorbieren keine Luftfeuchtigkeit, was die gravimetrische Auswertung erheblich verbessert. Die Ansaugköpfe für einatembaren Staub (E-Fraktion) wurden mit 3,5 l/min und diejenigen für die alveolengängige Fraktion (A-Fraktion) mit 2,0 l/min Luftdurchsatz betrieben. Für die personenbezogenen Messungen waren die Ansaugköpfe auf Mundhöhe der Versicherten (Pumpen am Gürtel), für die stationären Messungen mitten im Stall (Höhe ca. 1,5 m) angebracht. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die Messanordnung nicht in unmittelbarer Nähe von Lüftungsöffnungen stand. Wenn möglich, wurde immer ein Aufstellungsort im Stallgang gewählt. Die Dauer der Messung lag bei den stationären Messungen bei 8 Stunden und für die personengetragenen Messungen je nach Aufenthaltszeit im Stall zwischen 4 Minuten und maximal 5 Stunden 18 Minuten.

Die Staubsammlung für die Endotoxinbestimmung erfolgte auf bindemittelfreien Filtern (37 mm, Macherey-Nagel, 85/90 BF) für die Staubfraktionen der E- und A-Fraktion analog der oben beschriebenen Bedingungen. Eine Exposition fand über die Dauer von 8 Stunden während der Ruhephase in der Nacht statt. Eine zweite Exposition erfolgte tagsüber über die Dauer von einer Stunde während einer Fütterungsphase.

Zeitgleich zu den Staubsammlungen wurden mittels eines tragbaren Gasmessgerätes der Firma Dräger, Modell Multiwarn die Konzentrationen von CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>S erfasst.

Die Endotoxinbestimmung erfolgt gemäß BIA-Arbeitsmappe 9450 (bzw. CEN 14031). Dazu werden die Filter in ein Quarzglas gegeben und die Endotoxine mit LAL-Wasser (7 ml) unter Schütteln (1,5 h) extrahiert. Anschließend zentrifugiert man die Extrakte für 3 min bei

3000 U/min. Nach entsprechender Verdünnung (je nach erwarteter Konzentration 1:1, 1:10, 1:100) und Auftrag auf die Mikrotiterplatte erfolgt die Bestimmung mittels Limulus-Amöbozyten-Lysat (LAL). Es wird ein kinetischer Farbttest (Cambrex, Bio Science, Lot 3L3000) verwendet. Quantifiziert wird mit einer jeweils frisch erstellten Eichkurve (50/5/0,5/0,05/0,005 EU/ml) und das Ergebnis auf den gesamten Filter bezogen (EU/Filter). Aus diesen Daten kann bei bekanntem Luftdurchsatz ( $m^3$ ) die Endotoxin Konzentration in der Luft ( $EU/m^3$ ) berechnet werden. Zur Qualitätssicherung wird jeder Probe ein Endotoxin-Standard zugesetzt, der zwischen 50 % und 200 % wiedergefunden werden muss. Liegen Proben außerhalb dieses Bereiches, wird weiter verdünnt. Zusätzlich wird bei jeder Serie ein laborinterner Kontrollstandard mitgeführt.

Die Probenahme für die Bestimmung der luftgetragenen Keime (Bakterien, Schimmel und Hefen) erfolgte tagsüber. Das beprobte Luftvolumen betrug 20 Liter. Die Agarplatten (2 x Casoagar und 2 x Sabouraudagar) wurden gekühlt gelagert und transportiert und bei unterschiedlichen Temperaturen inkubiert. Die ausgezählten koloniebildenden Einheiten (KBE) werden auf das beaufschlagte Probenluftvolumen umgerechnet.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend sind einige ausgewählte Ergebnisse der kontinuierlichen 24-Stunden-Messungen (Tabelle 1) und der ereignisbezogenen Messungen (Tabelle 2) aufgeführt.

#### 3.1 24-Stundenmessungen, kontinuierlich

Die in Tabelle 1 dargestellten Staubmassenkonzentrationen liegen erwartungsgemäß bei den Geflügel und Schweinebetrieben am höchsten, variieren aber je nach Haltungsverfahren stark, z. B. PM 10 bei den Geflügelbetrieben von  $0,11 \text{ mg/m}^3$  bis  $1,43 \text{ mg/m}^3$ . Die in den Rinderställen gemessenen Staubmassenkonzentrationen sind um Größenordnungen niedriger. Unterschiede zwischen den Rinderbetrieben untereinander sind marginal.

Ähnliches lässt sich für die Ammoniakkonzentrationen sagen, wenngleich die Konzentrationen in allen Betrieben mit Werten zwischen 1,6 ppm und 8,2 ppm vergleichsweise gering sind. Die Dynamik der Ammoniakkonzentration ist bei den Rinderställen und dem kleinen mobilen Legehennestall 1) LH relativ groß.

Die Partikelanzahlkonzentrationen liefern Informationen über die Homogenität der Luftmasse während der Messepisode (z. B.  $\sigma_1$   $0,3 \mu\text{m} < D < 1 \mu\text{m}$ ) und über die Freisetzung von Partikeln. Letztere können meist auf Prozesse der Fütterung, Tieraktivität und Stallarbeiten zurückgeführt werden. Die Konzentrationen von Staub und Partikelanzahl ( $0,3 \mu\text{m} < D < 1 \mu\text{m}$ ) stimmen für die einzelnen Betriebe gut überein.

In den allermeisten Fällen ist die Dynamik bei den Konzentrationen großer Partikel erheblich höher als bei den Partikeln mit Durchmessern  $D < 1 \mu\text{m}$ , was sich in den Standabweichungen widerspiegelt. Die auffälligsten Unterschiede zeigen sich in der teilweise sehr guten Durchlüftung der Rinderställe. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten liefern allerdings keine Informationen über vertikalen Luftaustausch.

Tab. 1: Ergebnisse der 24-Stunden-Tagesgangmessungen in 10 Betrieben während den Sommermonaten. Dargestellt ist die Massenkonzentration der einatembaren, thorakalen und alveolengängigen Staubfraktion, die mittlere Ammoniakkonzentration (mit Standardabweichung), die mittlere Partikelkonzentration  $D < 1 \mu\text{m}$  und  $D > 1 \mu\text{m}$  (mit Standardabweichung), sowie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit (jeweils gemittelt über 24 Stunden)

		Staub			NH <sub>3</sub>		Partikelkonzentration				Stallklima		
		PM 100	PM 10	PM 4	C <sub>NH3</sub>	sNH <sub>3</sub>	0,3 $\mu\text{m} < D < 1 \mu\text{m}$		1 $\mu\text{m} < D < 20 \mu\text{m}$		T	rF	v
							N <sub>i</sub>	$\sigma_i$	N <sub>i</sub>	$\sigma_i$	°C	%	m/s
		mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	cm <sup>-3</sup>	cm <sup>-3</sup>	cm <sup>-3</sup>	cm <sup>-3</sup>			
Geflügel	1) LH	0,20	0,11	0,02	5,8	4,4	29,5	9,4	2,2	2,6	18,4	70	< 0,1
	2) LH	3,33	1,43	0,66	7,7	2,4	88,2	22,4	48,5	37,0	22,4	62	< 0,1
	3) LH	0,98	0,39	0,11	5,1	1,5	114,9	31,0	18,0	14,8	24,4	62	< 0,1
	4) MP	0,82	0,52	0,16	k.A.	k.A.	85,2	16,7	10,3	12,9	25,1	51	< 0,1
Schwein	1) MS	0,50	0,21	0,04	8,2	1,8	25,0	12,9	2,8	1,6	24,1	53	< 0,1
	2) MS	2,06	0,77	0,12	4,7	2,2	101,5	30,4	10,6	9,3	25,6	53	0,11
Rind	1) MB	0,11	0,01	0,01	2,3	0,8	88,9	31,4	0,8	1,3	19,5	77	< 0,1
	2) MV	0,08	0,04	0,02	1,8	0,8	71,5	33,9	0,8	1,2	22,3	73	< 0,1
	3) MV	0,11	0,05	0,02	1,6	1,2	168,3	113,9	0,8	0,8	22,6	70	0,63
	4) MV	n.b.	n.b.	n.b.	2,0	1,2	124,4	34,2	0,4	0,2	23,5	71	0,19

n.b. = Filter nicht auswertbar, Pumpe lief zu lange

k.A. = Gerät defekt

### 3.2 Ereignisbezogene Messungen, diskontinuierlich

Die ereignisbezogenen Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den drei gemessenen Parametern Staubmasse, Endotoxin und luftgetragene Keime. Bei allen Haltungformen sind die Betriebe mit den höchsten tagsüber gemessenen Endotoxingehalten 2) LH, 2) MS und 1) MB, auch diejenigen, die die größten Bakterienzahlen und stationär gemessenen Staubkonzentrationen aufweisen. Die personengetragenen Staubkonzentrationen sind plausibel, da sie in der Regel über den stationär gemessenen Werten liegen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die bei der Messepisode zu Grunde liegenden Aufenthaltszeiten im Stall sehr unterschiedlich waren. Interessante Auffälligkeiten zeigen die Endotoxinmessungen der A-Fraktion nachts während der Ruhephase in zwei der vier Geflügelställe (1) LH und 4) MP), da diese zum Teil deutlich über den tagsüber gemessenen Werten liegen. Gleiches gilt für die Endotoxingehalte der E-Fraktion bei 2) MS, 3) MV und 4) MV.

Gravimetrisch nicht auswertbare geringe A-Fractionen sind bei den Personen getragenen Messungen zum einen auf die sehr kurzen Aufenthaltszeiten im Stall 1) LH, 3) LH, 1) MS aber auch auf geringe Staubkonzentrationen, z. B. 4) MV, zurückzuführen.

Tab. 2: Ergebnisse der Kurzzeitmessungen in 10 Betrieben während der Sommermonate. Dargestellt ist die Massenkonzentration der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktion (stationär und personengetragen), die Endotoxinkonzentrationen (während der Fütterung und nachts) sowie Konzentrationen luftgetragener Keime

Fraktion	Staub				Endotoxin				Luftkeime			
	stationär		Personen getragen		Fütterung tagsüber		Ruhephase nachts		Bakterien	Schimmel	Hefen	
	E	A	E	A.	E	A	E	A				
	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	EU/m <sup>3</sup>	EU/m <sup>3</sup>	EU/m <sup>3</sup>	EU/m <sup>3</sup>	KBE/m <sup>3</sup>	KBE/m <sup>3</sup>	KBE/m <sup>3</sup>	
Geflügel	1) LH	0,24	0,02	0,21	n.b.	107	2	43	39	2.100	2.100	<50
	2) LH	7,22	0,50	6,53	0,82	16.058	469	7.018	142	>33.000	900	200
	3) LH	1,83	0,14	5,31	n.b.	3.731	455	889	30	17.900	14.400	<100
	4) MP	1,66	0,17	3,57	1,43	1.773	94	467	152	33.000	10.300	200
Schwein	1) MS	0,43	0,03	0,92	n.b.	228	9	111	12	9.300	800	600
	2) MS	2,72	0,13	7,03	0,48	1.932	26	4.873	19	>33.000	4.200	600
Rind	1) MB	0,35	0,02	1,67	n.b.	689	31	600	29	>11.000	133	400
	2) MV	0,07	0,03	0,31	0,09	66	35	18	3	2.700	850	<50
	3) MV	0,11	0,02	0,66	0,13	7	8	36	4	8.950	10.900	50
	4) MV	0,07	n.b.	0,31	n.b.	48	19	55	11	4.650	400	950

n.b. = nicht bestimmbar, da < 0,02 mg halbe Nachweisgrenze.

## 4 Schlussfolgerungen

Eine Kombination von zeitlich hochaufgelösten Dauermessungen und standardisierten, ereignisbezogenen Kurzmessungen bietet die Möglichkeit, bisher oftmals getrennt untersuchte Fragestellungen der Arbeitsmedizin und Tierhygiene mit Aspekten der Umweltwirkung zu verknüpfen. Wichtig hierzu wäre allerdings die Erfassung oder Abschätzung der Luftwechselrate, um von gemessenen Konzentrationen auf Emissionsraten schließen zu können. Dies stellt aber besonders bei den in diesem Projekt untersuchten Stalltypen messtechnisch ein Problem dar (BREHME 2000).

## 5 Literatur

BIA-Arbeitsmappe 9450 (bzw. CEN 14031).

BREHME, G., 2000: Quantifizierung des Luftvolumenstromes in frei gelüfteten Rinderställen mit Hilfe der Kompartimentalisierungsmethode zur Bestimmung umweltrelevanter Emissionsmassenströme. Dissertation, Fakultät für Agrarwissenschaften, Uni Göttingen.

GRIMM, E.; DÖHLER, H.; FRITZSCHE, S.; SCHWAB, M.; JÄGER, P.; SIEGEL, F.; WITZEL, E.; DE BAEY-ERNSTEN, H.; HACKENSCHMIDT, A.; ACHILLES, W.; BAUER, J.; ZIMMER-RÜHLE, S. 2002: Beschreibung der Besten Verfügbaren Techniken (BTV) in der Intensivtierhaltung (Schweine- und Geflügelhaltung) – UBA-FB 000284. Umweltbundesamt, Berlin.

## Rechnergestützte Tierüberwachung in der Mutterkuhhaltung *Computer based animal monitoring in suckler cow husbandry*

CLAUDIA BAHR<sup>1</sup>, OTTO KAUFMANN<sup>1</sup>, KLAUS SCHEIBE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-gärtnerische Fakultät, Institut für Nutztierwissenschaften, Fachgebiet Tierhaltungssysteme und Verfahrenstechnik, Philippstr. 13, D-10115 Berlin

<sup>2</sup> Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) im Forschungsverbund Berlin e. V., Institut der Leibniz-Gemeinschaft, Alfred-Kowalke-Str. 17, D-10315 Berlin

**Schlüsselwörter:** Mutterkuhhaltung, Abkalbung, sensorgestützte Tierüberwachung  
**Keywords:** Suckler cow husbandry, calving, sensor based animal monitoring

### **Zusammenfassung**

*Grundlage für ein funktionierendes Herdenmanagement in extensiven Haltungsverfahren sind hochwertige Informationen besonders in den wichtigen Abschnitten des Produktionsprozesses. In der Mutterkuhhaltung können sensor- und rechnergestützte Systeme den Informationsgewinn in sensiblen und wirtschaftlich entscheidenden Bereichen wie in Abkalbezeiträumen und Deckperioden oder bei gesundheitlichen Problemlagen erweitern.*

*Mit Hilfe der messbaren Parameter Standortverhalten, Bewegungsaktivität, Wasseraufnahme und Gewichtsentwicklung sollen innerhalb der Untersuchungen Verhalten und Verhaltensänderungen von Mutterkühen im Abkalbezeitraum erfasst und bewertet werden. Anhand erster Auswertungen von Abkalbungen lassen sich Veränderungen im Standortverhalten und der Bewegungsaktivität im unmittelbaren Geburtszeitraum nachvollziehen. Die Variationen sind jedoch innerhalb der Parameter erheblich und treten tierindividuell verschieden auf.*

### **Summary**

*High grade information in important segments of the production process are the basis for a working management in extensive livestock farming systems. Because of this in suckler cow husbandry special attention is being paid to the periods of time of oestrus, calving and possible illness. There is the possibility to enhance the benefit of information with sensor- and computer based systems.*

*The using of measurable parameters like animal activity and spatial pasture utilization in order to gather and evaluate data of behaviour and changes of behaviour in the period of calving is the aim of investigations. The changing in spatial pasture utilization and animal activity near the time of calving, first results had been shown. However there are a huge variation in data of both parameters between suckler cows in the livestock.*

## 1 Ziele und Aufgabenstellungen

Sensor- und rechnergestützte Systeme können einen Beitrag leisten, hochwertige Informationen über das Verhalten von Mutterkühen in wichtigen Abschnitten des Produktionsprozesses, wie Abkalbe- und Deckperiode oder bei gesundheitlichen Problemlagen zu liefern. Ziel der Untersuchungen ist es, die messbaren Verhaltensparameter Standortverhalten (Flächennutzung), Bewegungsaktivität, Wasseraufnahme und Gewichtsentwicklung bei Mutterkühen zu bewerten. Erste Teilauswertungen bezüglich des Standortverhaltens und der Flächennutzung sollen zeigen, mit welcher Sicherheit sich Verhalten und Verhaltensänderungen von Mutterkühen bei Eintritt eines Ereignisses wie z. B. einer Abkalbung mit objektiv messbaren Kriterien erfassen und zuordnen lassen. Folgende Fragestellungen gilt es genauer zu analysieren:

1. Welchen Einfluss hat das Ereignis „Abkalbung“ auf das Verhalten der Tiere bezüglich ihrer Bewegungsaktivität und des Standortverhaltens?
2. In welchem Ausmaß weichen Mutterkühe im Verhalten kurz vor, während und nach der Geburt des Kalbes von „gewohnten“ Tagesrhythmen ab?
3. Sind auftretende Verhaltensänderungen mit den objektiv messbaren Parametern Bewegungsaktivität und Standortverhalten ohne zusätzlichen Beobachtungsaufwand nachweisbar?

Es werden erste Ergebnisse zu den Schwerpunkten Standortverhalten (Flächennutzung) und Bewegungsaktivität dargestellt.

## 2 Material und Methode

Die Datenerfassung fand in einer Mutterkuhherde mit Tieren der Rassen Gelbvieh, Fleckvieh und Uckermärcker statt.

Für die Bestimmung des **Standortverhaltens** wurde zuerst die Weidefläche vermessen, im Anschluss geeignete Beobachtungsstandorte ausgewählt und deren Koordinaten mit GPS (Global Positioning System) bestimmt. Mit Hilfe eines Fernglases vom Typ LEICA GEOVID 7\*42 BDA konnten über die Ermittlung von Distanz und Winkel vom Beobachtungspunkt zur anvisierten Mutterkuh die Koordinaten der Tierstandorte berechnet werden. Für eine genaue Analyse des Standortverhaltens fanden bisher die Jenrich Turner Homerange Funktion und die Bildung von Minimum Convex Polygonen mit der Computersoftware ArcView Anwendung. Die Jenrich Turner Homerange Funktion wurde für die Wildtierforschung entwickelt und stellt bei Berücksichtigung von 95 % aller Messpunkte das „Streifgebiet“ eines Tieres in m<sup>2</sup> dar, ohne Grenzen wie Umzäunungen zu berücksichtigen. Bei der Bildung von Minimum Convex Polygonen gilt die Fläche innerhalb der äußeren Messpunkte als durch die Tiere genutzte Fläche.

Die Ermittlung der **Bewegungsaktivität** erfolgte über den Einsatz von Speicher-Telemetrie-Logger (STL) - Pedometern entwickelt und hergestellt durch das Ingenieurbüro Holz. Die Pedometer erfassten neben den Beinbewegungen auch die Liegezeiten und Liegepositionen der Tiere. Zusätzlich wurden 5-minütige Zeitintervalle konfiguriert, so dass sich die Messwerte der Uhrzeit zuordnen ließen.

Tab. 1: Beispiel für die erfassten Daten der Bewegungsaktivität einer Mutterkuh aus dem Versuch  
*Example for gathered data of the animal activity of a suckler cow*

Datum/Uhrzeit	Schritte	Seitenlage in Takten	Bauchlage in Takten
21.03.03 15:05	97	0	0
21.03.03 15:10	46	0	10
21.03.03 15:15	0	0	20
21.03.03 15:20	1	0	20

1 Takt = 15 Sekunden

Innerhalb des gewählten 5-minütigen Intervalls speicherte das Pedometer die Anzahl der Schritte und Seiten- und Bauchlage in Takten. Jeder Takt entspricht hierbei 15 Sekunden, so dass sich aus der Multiplikation von Taktanzahl und 15 s die Liegezeit in Sekunden für das eingestellte Intervall ergibt.

Zur Evaluierung der Messwerte fanden parallel zur Datenerfassung **Tierbeobachtungen** statt. Im Abstand von 15 Minuten wurde das Tierverhalten protokollarisch dokumentiert.

Für eine erste **Auswertung** des Standortverhaltens (Flächennutzung) und der Bewegungsaktivität stand die Bildung von Mittelwerten und die Betrachtung der Standardabweichung im Vordergrund. Des Weiteren wurde zur Ermittlung einer geeigneten Auswertungsbasis bezüglich des Standortverhaltens ein Methodenvergleich zwischen der Jenrich Turner Homerange Funktion und der Anwendung von Minimum Convex Polygonen vorgenommen.

### 3 Ausgewählte Ergebnisse

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf fünf Abkalbungen, die hinsichtlich des Standortverhaltens und der Bewegungsaktivität bereits aufgearbeitet wurden und auswertbar sind.

#### 3.1 Standortverhalten

Der Methodenvergleich für das Standortverhalten ergab bei allen Abkalbungen eine große Variation in der Flächennutzung, welche sich innerhalb der Tiergruppe aber auch je Einzeltier und Tag offenbarte. Die Homerange Funktion und die Bildung der Minimum Convex Polygone zeigen den gleichen Verlauf, doch wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, sind die Schwankungen der Homeranges wesentlich deutlicher ausgeprägt sind als die der Minimum Convex Polygone. Im Gegensatz zur Homerange Funktion ergeben sich die geringeren Abweichungen bei der Polygonmethode durch die ausschließliche Berücksichtigung der Fläche, die innerhalb der äußersten miteinander verbundenen Messpunkte liegt.

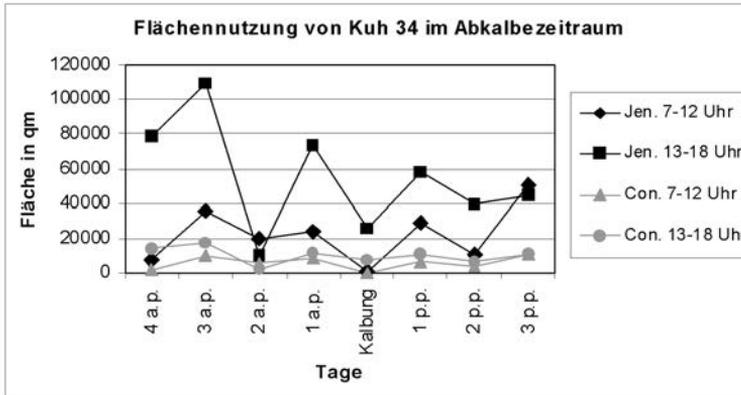


Abb. 1: Vergleich der Jenrich Turner Homeranges und der Minimum Convex Polygone für vormittags und nachmittags im Verlaufe von 8 Tagen

*Jenrich Turner Homeranges and Minimum Convex Polygons for eihgt days a.m. and p.m. by comparison*

Somit erweist sich die Bildung von Minimum Convex Polygonen, im Vergleich, als geeigneter methodischer Ansatz zur Bewertung des Standortverhaltens, repräsentiert durch die Flächennutzung. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich ebenfalls auf Minimum Convex Polygone.

Bei den fünf ausgewerteten Abkalbungen kann eine Einschränkung des Aktionsradius der Kühe in den Stunden nach der Kalbung festgestellt werden. Ihre Flächennutzung liegt in dieser Zeit bei 66 m<sup>2</sup>, 159 m<sup>2</sup>, 310 m<sup>2</sup>, 510 m<sup>2</sup> und 1700 m<sup>2</sup>, während der Minimalwert zur selben Tageszeit an den Tagen a. p. jeweils 5616 m<sup>2</sup>, 1599 m<sup>2</sup>, 1336 m<sup>2</sup>, 5040 m<sup>2</sup> und 9101 m<sup>2</sup> beträgt.

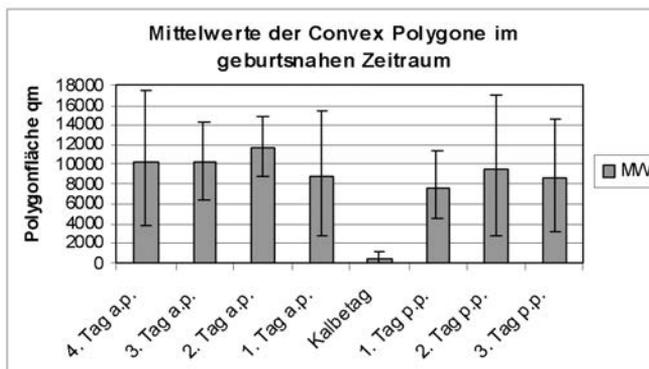


Abb. 2: Mittelwerte der Minimum Convex Polygone von fünf Mutterkühen im geburtsnahen Zeitraum

*Average of the Minimum Convex Polygons of five suckler cows in the time of calving*

Die Mittelwerte der Convex Polygone in den Tagen 4–1 a. p. und 1–3 p. p. im Vergleich zu den Mittelwerten des Abkalbetages in Abbildung 2 bestätigen den Trend zur Einschränkung des Bewegungsradius unmittelbar nach der Abkalbung. Die Standardabweichung an den einzelnen Tagen ist als äußerst hoch einzustufen.

### 3.2 Bewegungsaktivität

Die Bewegungsaktivität lässt sich anhand der Schrittzahl und der Liegezeiten bewerten.

In Abbildung 3 wurde anhand von Mittelwerten die Schritthäufigkeit von fünf Mutterkühen in einem Zeitraum von 12 h vor der Geburt bis 12 h nach der Geburt, verglichen mit den äquivalenten Tageszeiträumen am 3. Tag a. p. und am 2. Tag p. p. Die Schrittzahl von vier Stunden wurde zu einem Wert zusammengefasst.

Der Punkt 0 h markiert den Zeitraum von vier Stunden in der die Abkalbung stattfand bzw. den Vergleichszeitraum am 3. Tag a. p. und am 2. Tag p. p.

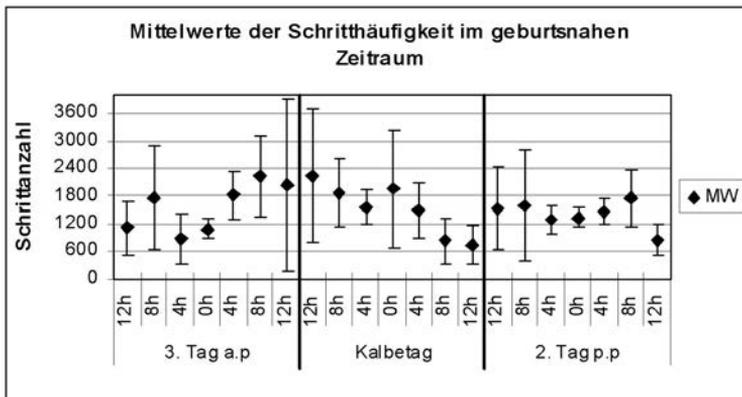


Abb. 3: Mittelwerte der Schritthäufigkeit von fünf Mutterkühen am 3. Tag a. p., am Kalbetag und am 2. Tag p. p.

*Average of the Step activity of five suckler cows at the third day a. p., at the day of calving and at the second day p. p.*

Der Kurvenverlauf am Kalbungstag beschreibt den Anstieg der Schrittaktivität in den Stunden vor der Kalbung verglichen mit dem 3. Tag a. p. und dem 2. Tag p. p. Im Gegensatz dazu sinkt die Schrittzahl nach der Geburt am Kalbetag sichtbar ab. Für die Vergleichszeiträume ist diese Tendenz nicht erkennbar. Das Absinken der Schrittzahl direkt nach der Abkalbung deckt sich mit der Erkenntnis aus dem Standortverhalten, wonach die Mutterkühe ihren Bewegungsradius für einige Stunden nach der Abkalbung einschränken. Das Ausmaß der Standardabweichung gestaltet sich für die Tage und die einzelnen Zeitabschnitte sehr unterschiedlich, was ähnlich dem Standortverhalten, auf große Unterschiede im tierindividuellen Verhalten zurückzuführen ist. Da die Tiere zu verschiedenen Tageszeiten kalbten, liegt eine weitere Ursache für die Schwankungen in den Werten in der Nichtberücksichtigung des Tagesabschnittes in der die Kalbung stattfand.

Die Analysen der Liegezeiten ergab folgende Ergebnisse. Abbildung 4 zeigt im Durchschnitt gleichbleibend niedrige Liegezeiten in den Stunden vor der Geburt des Kalbes. Die Liegezeiten am 3. Tag a. p. erweisen sich hingegen als sehr variabel. Die Mittelwerte am 2. Tag p. p. verhalten sich genau entgegengesetzt zum Kalbetag, so dass jeder der drei Zeiträume eine andere Verteilung der Werte aufweist. Zudem ist auch hier das Ausmaß der Standardabweichungen als hoch zu bewerten, was wiederum mit den sehr differenzierten Einzeltierwerte zu begründen ist.

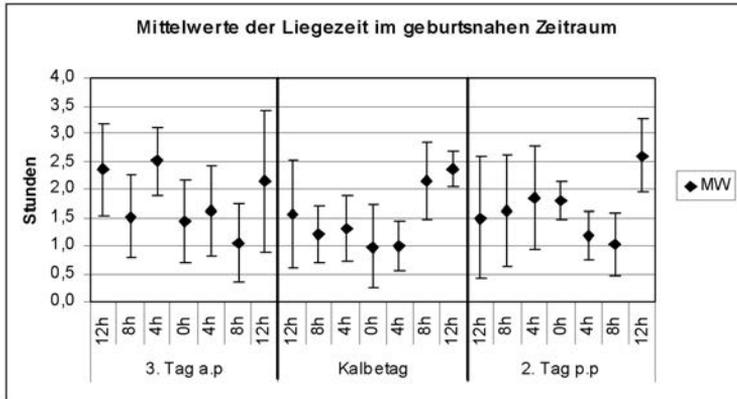


Abb. 4: Mittelwerte der Liegezeit von fünf Mutterkühen am 3. Tag a. p., am Kalbetag und am 2. Tag p. p.  
Average of the laying time of five suckler cows at the third day a. p., at the day of calving and at the second day p. p.

## 4 Schlussfolgerungen

Mit den Untersuchungen der Parameter Standortverhalten und Bewegungsaktivität konnten durch sensor- und rechnergestützte Datenerfassung große tierindividuelle Unterschiede im geburtsnahen Zeitraum ermittelt werden. Auf der Grundlage von Mittelwerten und Standardabweichungen wurden erhebliche Differenzen im Verhalten zwischen den einzelnen Tieren aufgezeigt.

Die Aussagen der Literatur zum Verhalten von Rindern im geburtsnahen Zeitraum bestätigen sich tendenziell durch die ausgewerteten Messungen. So spiegelt sich die zu beobachtende Unruhe der Tiere vor der Kalbung in den erhöhten Messwerten der Schrittzahl wieder. Ebenso ist erkennbar, dass die Liegezeiten in den Stunden vor der Kalbung sinken. Auch die beobachtete Einschränkung des Aktionsradius der Mutterkuh ist aus den Daten zum Standortverhalten nachvollziehbar.

Die weiteren Auswertungen konzentrieren sich auf die Bewertungen der Reaktionen des einzelnen Tieres.

## 5 Literatur

- [1] GOLZE, M. (1997): Extensive Rinderhaltung Fleischrinder-Mutterkühe, BLV Verlagsgesellschaft mbh, München.
- [2] SAMBRAUS, H. H. (1978): Nutztierethologie. Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere – Eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis, Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- [3] BAHR, C; KAUFMANN, O.; BREHME, U. (2003): Analysen von Tieraktivitätsmessungen mit Pedometern zur Einschätzung des Verhaltens von Mutterkühen im geburtsnahen Zeitraum, in: Tagungsband Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, S. 444–447, Vechta.
- [4] [www.arcscripts.esri.com](http://www.arcscripts.esri.com).

# Einsatz der elektronischen Kennzeichnung (RFID-Technologie) für die Verbesserung der Rückverfolgbarkeit von Schweinen

## *Electronic identification (RFID Technology) for improvement of traceability of pigs*

EVA SPIESSL-MAYR<sup>1</sup>, GEORG WENDL<sup>1</sup>, MICHAEL ZÄHNER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

<sup>2</sup> Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

**Schlüsselwörter:** Elektronische Tierkennzeichnung, RFID, Transponder, Injektat, Rückverfolgbarkeit  
**Keywords:** *Electronic identification, RFID, transponder, Injectable transponder, traceability*

### **Zusammenfassung**

Die lückenlose Rückverfolgbarkeit von Tieren kann einen wichtigen Beitrag zur Lebensmittelsicherheit leisten. Mit der Transpondertechnologie ist es möglich, den Lebenslauf des Tieres vom Erzeugerbetrieb bis hin zur Ladentheke zu verfolgen. Im EU-Projekt EID + DNA Tracing wurden drei Injektionsorte für Transponder bei 400 Schweinen unter Berücksichtigung des Applikationsalters, der Transpondergröße, der Verlustrate und der Entnahme im Schlachthaus untersucht. Aufgrund der geringen Verlustrate und der guten Wiederfindbarkeit im Schlachthaus wurde für die praktische Umsetzung an 2000 Schweinen nur die Bauchhöhle als Injektionsort ausgewählt. Insgesamt sind 0,2 % der Tiere aufgrund von Komplikationen bei der Transponderapplikation verendet und 1,6 % der Transponder gingen im Laufe der Lebenszeit verloren. Die Wiederfindungsrate der Transponder im Schlachthaus betrug mehr als 98 %. Für den breiten Praxiseinsatz sind jedoch weitere Optimierungen notwendig.

### **Summary**

Traceability of animals can make an important contribution for the security of food. Through the transponder technology it is possible to trace animals from the origin farm to the sales counter. In the EU-project EID + DNA tracing three different injections spots were examined concerning age of application, transponder size, losses and the recovery in the slaughterhouse. Because of good results in readability, only few losses and an easy recovery in the slaughterhouse the intraperitoneal injection was chosen for the implementation phase as injection spot to be tested on 2000 animals. A total of 0,2 % of the animals died due to complications during injection and 1,6 % of the transponder were lost during live time. The recovery rate of the transponder in the slaughterhouse was higher than 98 %. However for a widespread application in practice, the system needs to be optimized.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Nach zahlreichen Skandalen im Lebensmittelbereich werden die Forderungen der Konsumenten nach sicheren Nahrungsmitteln immer lauter. Durch eine lückenlose Rückverfolgung entsteht die Möglichkeit, fehlerhafte bzw. gesundheitsschädliche Produkte aus der Nahrungsmittelkette zu entnehmen, wodurch ein entscheidender Beitrag zur Lebensmittelsicherheit geleistet wird. Das gilt für die Futtermittelindustrie genauso wie für die Lebensmittelproduktion. Im Bereich der Fleischproduktion bedeutet dies, dass jedes Tier tierindividuell gekennzeichnet werden muss, um in Fällen von Krankheiten und Seuchen, den Ursprung feststellen und entsprechend reagieren zu können. Nach Einführung der HIT-Datenbank für Schweine wurde die verbindliche Kennzeichnung mit visuellen Ohrmarken bei Schweinen verpflichtend eingeführt. Die visuellen Ohrmarken bieten aber keinerlei Möglichkeit zur automatisierten Datenerfassung. Globales Ziel in dem EU Projekt (siehe [4]) ist es, die elektronische Kennzeichnung von Schweinen mit injizierbaren Transpondern zu untersuchen. In einem Vorversuch (siehe [1], [5]) wurden drei verschiedene Transpondergrößen bei 400 Ferkel an drei verschiedenen Injektionsorten eingesetzt. Als Ergebnis dieser Arbeit wurde die Injektion in der Bauchhöhle als beste Injektionsmethode bewertet und eine Transpondergröße von 32 mm als praktikabel eingestuft.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Erkenntnisse der Vorphase an 2000 Tieren in der Praxis zu testen. Zusätzlich wurde eine DNA-Probe für eine weitere Identität der Tiere zu erhalten; darauf wird jedoch in diesen Beitrag nicht eingegangen.

## 2 Material und Methode

In der Implementierung des Projekts wurde den Tieren ein 32 x 3,85 mm Transponder (HDX, Allflex Europe S.A in steriler Einwegverpackung) in die Bauchhöhle injiziert. Das verwendete Produkt entspricht den ISO Standards 11784 und 11785 für elektronische Tierkennzeichnung und wurde mit dem Applikationsgerät von Hüther appliziert. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Tierhaltung und Tierschutz in Grub und zwei Versuchsbetrieben der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Karolinenfeld und Baumannshof sowie der Eidgenössischen Forschungsanstalt in Tänikon (Schweiz) unter Praxisbedingungen durchgeführt. Ca. 1000 Tiere wurden auf den Versuchsbetrieben der LfL gehalten und im Versuchsschlachthaus in Grub geschlachtet, ca. 500 Tiere wurden auf dem Versuchsbetrieb der Eidgenössischen Forschungsanstalt gehalten und im kommerziellen Schlachthof der Micarna Gruppe geschlachtet. 500 Tiere wurden auf einem praktischen Ferkelerzeugerbetrieb gekennzeichnet, auf einem praktischen Mastbetrieb aufgezogen und in einem kommerziellen Schlachthof der Südfleisch Gruppe geschlachtet. Die Kennzeichnungen wurden nacheinander in Gruppen von 100 bis 200 Tieren im Zeitraum von August '03 bis Mai '04 durchgeführt. Die Ferkel wurden in der 3.–4. Lebenswoche mit ca. 3–5 kg gekennzeichnet. Die Injektion wurde am leicht gestreckten Ferkel zwischen Median- und Zitzenlinie caudal des Nabels auf Höhe des vierten bis fünften Zitzenpaares in die Bauchhöhle (intraperitoneal) durchgeführt. Bei 82 % der Tiere erfolgte die Injektion am hängenden Tier, 18 % wurden in einer liegenden Position nach Caja (siehe [3]) gekennzeichnet.

In den vorliegenden Versuchen wurde bei ca. 200 Tieren die Injektionsstelle nach der Kennzeichnung mit Tätowierfarbe angefärbt, um bei einem eventuell auftretenden Bruch, den Ort der Injektion zu lokalisieren.

Die regelmäßigen Lesekontrollen wurden bei der Kennzeichnung, einen Tag danach und bei jedem Ortswechsel oder Umstallung (25–30 kg) durchgeführt.

Für die Vorortkontrollen wurden Handlesegeräte (Typ ISOMAX III der Firma Datamars SA und Typ Gesreader 2S ISO der Firma Gesimpex) verwendet sowie stationäre Lesegeräte (Typ DSE 500V2 der Firma Agrident), die mit elektronischen Waagen kombiniert waren. Für die Eingangskontrolle im Schlachthaus Grub wurde ein stationärer Leser (Typ ASR 454 der Firma Agrident) eingesetzt.

Bei der Schlachtung wurden die Versuchstiere nach der Betäubung, vor dem Brühltunnel, vor der Entnahme des Transponders und vor dem Abtransport ins Kühlhaus kontrolliert. Der Transponder wurde an der Station entnommen, wo die Organe und das Darpaket vom Schlachtkörper getrennt werden.

Die Messungen des Zeitbedarfs für die Entnahme des Transponders, vom Öffnen der Schlachthälfte bis zur tatsächlichen Entnahme, wurde mit einer Stoppuhr durchgeführt.

Bei Tieren, die zeitnah zur Applikation verendeten, oder die Auffälligkeiten zeigten, wurde eine pathologische Untersuchung durchgeführt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt wurden 2050 Tiere auf den verschiedenen Betrieben gekennzeichnet. Davon gingen 9,1 % der Gruppe ab, weil sie aus betriebswirtschaftlichen Gründen anders vermarktet wurden oder verendeten. Die Zahl der verendeten Tiere auf den verschiedenen Betrieben schwankte um 6–7 %, was im Vergleich zum Durchschnitt (4 %, siehe [2]) eher im höheren Bereich einzuordnen ist. Nur rund 1 % der Abgänge, oder 0,2 % der gesamten Tierzahl waren mit dem Transponder in Zusammenhang zu bringen. Von den abgegangenen Tieren wurden 2,9 % pathologisch untersucht, um die Todesursache eindeutig feststellen zu können. Wie in Tabelle 1 dargestellt, starben zwei Tiere an einer bakteriellen Infektion, unmittelbar nach der Injektion des Transponders. Bei vier Tieren führte die wahrscheinlich zu tiefe Injektion des Transponders unmittelbar zum Tod, wobei in zwei Fällen die Bauchaorta perforiert wurde, im dritten Fall der Darm verletzt und im vierten Fall das Tier aufgrund einer Blockade in der Harnröhre durch den Transponder verendete. Drei Tiere verendeten an einer Peritonitis, direkt nach der Applikation. Bei neun Tieren führten Brüche zum Abgang, wobei zwei Tiere auf Grund des Bruchs vorzeitig geschlachtet wurden. Die restlichen sieben Tiere verendeten zeitnah zur Applikation. Bei allen wurde ein inkarzierter Bruch als Todesursache festgestellt. Zwei Tiere wurden euthanasiert, um die Tiere einer pathologischen Untersuchung unterziehen zu können. Es ist festzuhalten, dass sich einige Brüche in der Nähe der Injektionsstelle befanden, was durch die angefärbte Injektionsstelle sichtbar war, ob jedoch ein Zusammenhang besteht, sollte näher untersucht werden.

Tab. 1: Tierverluste  
Animal losses

Tierverluste <i>Animal losses</i>		Kein Einfluß durch Transponderapplikation <i>Incoherent with transponder</i>			Einfluß durch Transponderapplikation denkbar <i>Correlation with transponder possible</i>				
TG <sup>1)</sup>	ver. T. <sup>2)</sup>	V. un. <sup>3)</sup>	n. i. Z. <sup>4)</sup>	ver. v. S. <sup>5)</sup>	bak. Inf. <sup>6)</sup>	TP <sup>7)</sup>	P. <sup>8)</sup>	Br. <sup>9)</sup>	Euth. <sup>10)</sup>
TG 7	19		16	2		1			
TG 8	12		8		2	1	1		
TG 9	20	1	13			1	1	3	1
TG 10	12		11					1	
TG A	3		3						
TG B	9		7				1		1
TG C	8		4					4	
TG D	12		10	1				1	
TG FAT	34		33			1			
Summe Sum	129	1	105	3	2	4	3	9	2
Prozent Per cent	6,3%	0,0%	5,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,4%	0,1%

- <sup>1)</sup> Tiergruppe  
*Group of animal*
- <sup>2)</sup> Verendete Tiere  
*Animal losses*
- <sup>3)</sup> Verbleib des Tieres unklar  
*Animal absent*
- <sup>4)</sup> Ohne Zusammenhang mit  
Transponderapplikation  
*Death not in correlation with  
transponder application*
- <sup>5)</sup> Tier verendet vor Schlachtung  
*Animal died before slaughtering*
- <sup>6)</sup> Tod durch bakterielle Infektion nach  
der Injektion  
*Death caused by a bacterial  
infection after injection*
- <sup>7)</sup> Tod durch Verletzung bei  
Transponderapplikation  
*Death caused through transponder  
application*
- <sup>8)</sup> Tod nach Peritonitis  
*Death caused by peritonitis*
- <sup>9)</sup> Tod durch inkarzeriertem Bruch  
*Death caused by hernia*
- <sup>10)</sup> Tier euthanasiert nach Injektion  
*Euthanasia after injection*

Insgesamt gingen, wie in Tabelle 2 beschrieben, 32 Transponder in der Tiergruppe verloren, wobei zwei Tiere den Transponder zwei Mal verloren haben. Die häufigsten Verluste traten direkt nach der Kennzeichnung am Tag 1 auf und dann wieder bei der Umstallung bei ca. 25–30 kg. Auffällig sind die vielen Nachkennzeichnungen in Tiergruppe D, die im Liegen gekennzeichnet wurde. Dies legt die Vermutung nahe, dass der Transponder bei einer zu wenig tiefen Injektion aus der Injektionsstelle ausgetreten ist. Bei weiteren 14 Transpondern wurde der Verlust kurz vor oder nach der Umstallung beobachtet. Da aber auch beobachtet wurde, dass Transponder in die Harnblase oder in den Darm abgelegt wurden und dies nicht zum Tod führte, ist ein Transponderverlust zu einem späteren Zeitpunkt denkbar. Bei der Schlachtung wurden 0,7 % der Transponder aus der Harnblase oder -röhre entnommen und 1,2 % der Tiere haben den Transponder zu einem späteren Zeitpunkt verloren, was darauf schließen lässt, dass der Transponder aus der Harnblase abgegangen ist.

Den Zeitbedarf der Transponderentnahme im Schlachthaus Grub, stellt Abbildung 1 dar. Für die Entnahme der Transponder und die Zeitmessung von 534 Tieren war eine Person verantwortlich. 50 % der Transponder konnten in einer Zeitspanne von 12 bis 32 s entnommen werden. Der berechnete Mittelwert betrug 30 s. Insgesamt wurden 65 Ausreißer ermittelt, die sich damit erklären lassen, dass der Transponder gesucht werden musste, wenn er nicht aus dem Darmnetz entnommen werden konnte.

Die Entnahme des Transponders im Schlachthaus stellte kein Problem dar und konnte auch bei Schlachtgeschwindigkeiten von 200 Tieren pro Stunden durch eine zusätzliche Person bewerkstelligt werden. Von 1840 Transpondern wurde der Großteil (78 %) aus dem großen Darmnetz (*Umentum majus*) entnommen. Der Transponder war dort in einer Gewebekapsel am Darmnetz fixiert. Bei 13 % der Transponder war diese Fixierung nicht gegeben, deshalb fiel er bei der Entnahme des Darmpaketes heraus und musste gesucht werden. Diese Fälle

sind als kritisch zu beurteilen, da das Darmpaket und weiter Abschnitte wie Flomenfett untersucht werden müssen.

Tab. 2: Transponderverluste  
*Transponder losses*

Nachkennzeichnung <i>Retagging</i>	Anz. TP Verl. ges. <sup>1)</sup>		M. <sup>2)</sup>	NK <sup>3)</sup>	ern. Verl. <sup>4)</sup>	T1 <sup>5)</sup>	TE <sup>6)</sup> 5-6 kg	TU <sup>7)</sup> 25-30 kg
	abs.	rel.						
TG 7	3	0,1%	h	3		3		
TG 8	5	0,2%	h	4	1	2		3
TG 9	4	0,2%	h	4		1		3
TG 10	1	0,0%	l	1			1	
TG A	-	-	h	-				
TG B	1	0,0%	h	1				1
TG C	-	-	h	-				
TG D	9	0,4%	l	8	1	8	1	
TG FAT	9	0,4%	h				2	7
Summe	32	1,6%		21	2	14	4	14

- 1) Anzahl der Transponderverluste pro Tiergruppe  
*Transponder losses in the whole animal group*
- 2) Injektionsmethode l=liegend, h=hängend  
*Injection method l=laying position, h=hanging position*
- 3) Anzahl der Nachkennzeichnungen  
*Amount of retaggings*
- 4) Erneuter Verlust  
*Lost after retagging*
- 5) Nachkennzeichnung 1 Tag nach Transponderapplikation  
*Retagging 1 day after applikation*
- 6) Transponderverlust zum Zeitpunkt der Einstallung  
*Transponder losses after first movement*
- 7) Transponderverlust zum Zeitpunkt der Umstallung  
*Transponder losses after second movement*

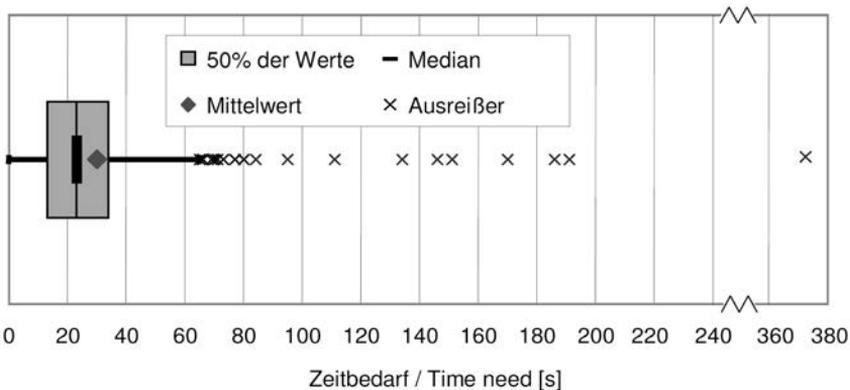


Abb. 1: Zeitbedarf Transponderentnahme  
*Time need transponder recovery*

In einigen Fällen wurde der Transponder auch an ungewöhnlichen Stellen gefunden. 0,6 % wurden in der Harnröhre und -blase, 0,1 % im Fettgewebe des Longissimus dorsi und 0,3 % unter der Haut gefunden. 1,6 % der Transponder gingen im Schlachthaus verloren, jedoch konnte ausgeschlossen werden, dass noch ein Transponder an der Schlachthälfte verblieb. Bei 0,2 % der Fälle konnte kein Transponder entnommen und keine Kontrolle durchgeführt werden. Um transponderfreie Schlachthälften zu garantieren und die Gefahr auszuschließen,

dass Transponder in die Nahrungskette gelangen, ist daher Zusatzpersonal für Kontrollen notwendig. Insgesamt wurde mehr als 98 % der Transponder im Schlachthaus wiedergefunden.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Methode Schweine mittels Transponder in der Bauchhöhle zu kennzeichnen ist insgesamt durchführbar. Eine erfahrene Person für die Kennzeichnung, ist jedoch unbedingt erforderlich. Für eine fachgemäße Injektion sind zwei Personen erforderlich, eine Person zum Fixieren und eine weitere für die Kennzeichnung. Insgesamt erwies sich der Einsatz des 32 mm großen Transponders als praktikabel, er konnte in allen Managementstufen gut gelesen werden. Besonders bei ausgewachsenen Tieren und für die Lesung im Schlachthaus sind größere Lesedistanzen erforderlich, die mit dem 32 mm Transponder zu erreichen sind. Für den breiten Praxiseinsatz sind weitere Untersuchungen notwendig, um die Injektionsmethode zu verbessern, die zwar geringen, aber doch vorhandenen Tierverluste auszuschließen und die Entnahme im Schlachthof zu optimieren.

## 5 Literatur

- [1] KLINDTORTH, K.; SPIESSL-ROITH, E.; WENDL, G.; KLINDTORTH, M. (2004): Einsatz von Injektaten bei Schweinen. *Landtechnik* 59, H. 1, S. 44–45.
- [2] Erzeugerringe aus niedersachsen, Landwirtschaftskammer Weser-Ems und Hannover und Vit Verden (2004) (Hrsg.): *Berichte aus Verden*, S16.
- [3] CAJA, G. (2002): Protocol of optimal injection body site for pigs (Deliverables 5), In: European Commission (Hrsg.): *EID+DNA Tracing (5th Framework Programme)*, [http://quiro.uab.es/tracing/Deliverables/D5\\_v2.pdf](http://quiro.uab.es/tracing/Deliverables/D5_v2.pdf).
- [4] UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA (2001): *Electronic Identification and Molecular Markers for Improving the Traceability of Livestock and Meat (EID + DNA Tracing)\_QLK1\_CT\_2001-02229*. In European Commission (Hrsg.): *EID + DNA Tracing (5th Framework Programme)*, <http://quiro.uab.es/tracing/Index.html>1.
- [5] SPIESSL, E.; KLINDTORTH, K.; KLINDTORTH, M.; WENDL, G., (2003): Improvement of electronic identification of pigs using injectable transponder (White pigs) (WP 2-3.1), In: European Commission (Hrsg.): *EID + DNA Tracing (5th Framework Programme)*, 2<sup>nd</sup> Annual Report.

## Elektronische Registrierungssysteme zur Erfassung der Legeleistung und von Verhaltensmustern bei Legehennen in artgerechter Gruppenhaltung

### *Electronic systems to record behaviour patterns and laying performance of individual laying hens in alternative group housing systems*

STEFAN THURNER, GEORG WENDL, STEPHAN BÖCK

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** RFID, Transponder, Legeleistung, Verhaltensmuster, Gruppenhaltungssystem, Legehennen  
**Keywords:** RFID, transponder, laying performance, behaviour patterns, group housing systems, laying hens

### **Zusammenfassung**

Für die automatische Erfassung des Auslaufverhaltens, des Legeverhaltens und der Legeleistung von Hennen wurden ein elektronisches Schlupfloch und das sogenannte „Weihenstephaner Muldennest“ entwickelt. Mit dem elektronischen Schlupfloch wurde eine hohe Identifizierungssicherheit (> 97 %) der Hennen erreicht. Auswertungen zum Auslaufverhalten der Legehennen über eine Legeperiode zeigten große Unterschiede. Im Mittel korrelierte die durchschnittliche Aufenthaltsdauer pro Henne im Kaltscharraum gut ( $r = 0,75$ ) mit dem Verlauf der mittleren Tagestemperatur und schwankte zwischen 2 und 8 h/d. Mit dem entwickelten Einzelnest konnten mehr als 99 % der Eier registriert werden und eine Doppelbelegung des Nests in 100 % bzw. 98,2 % der Fälle verhindert werden. Über 99 % der registrierten Eier konnten eindeutig einer Henne zugeordnet werden.

### **Summary**

For the automatic registration of the ranging behaviour, the laying behaviour and the laying performance of hens an electronic pop hole and the so-called "Weihenstephaner Funnel-Nest-Box" have been developed. The electronic pop hole achieved a high identification reliability (> 97 %) of the hens. The evaluation of the ranging behaviour of the laying hens for one laying period showed enormous differences. On average the staying time of the hens in the winter garden correlates well ( $r = 0.75$ ) with the average day temperature and varies between 2 and 8 h/d. More than 99 % of the eggs could be automatically registered with the developed single nest box and a double nest occupation could be avoided in 100 % respectively 98,2 % of the cases. More than 99 % of the registered eggs could be explicitly related to one hen.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Das europaweite Verbot der herkömmlichen Käfighaltung erfordert die Entwicklung von neuen Haltungssystemen für eine artgerechte Legehennenhaltung. Zur erfolgreichen Eierproduktion müssen die Legehennen in den neuen Haltungssystemen ihr Leistungspotenzial voll ausschöpfen können. Die bisherigen Hennenlinien, die über Jahrzehnte entsprechend den Anforderungen der Käfighaltung selektiert wurden, zeigen in Gruppenhaltungssystemen unerwünschte Verhaltensweisen, die zu Schäden an den Tieren und zu wirtschaftlichen Einbußen führen können (PREISINGER, 1998). Zur Züchtung neuer Hennenlinien ist es nötig, objektive Erhebungen zu den Genotyp-Umwelt-Interaktionen durchzuführen. Dies erfordert automatische Systeme zur Datenerfassung. Zielsetzung ist es daher, mit Hilfe der RFID-Technologie die Legeleistung und verschiedene Verhaltensmuster von Legehennen in Gruppenhaltungssystemen – einzeltierbezogen und automatisch – zu erfassen.

## 2 Material und Methode

Die automatische Datenerfassung basiert auf verschiedenen passiven RFID-Systemen. Für das elektronische Schlupfloch wurde ein stationärer Leser der Firma Agrident GmbH (Typ DSE 500) in Kombination mit zwei Durchgangsantennen und Glas-Transpondern (12 mm, 131 kHz, FDX, Sokymat), eingelegt in Flügelmarken (RoxanID, WonderBand) verwendet. Im entwickelten Weihenstephaner Muldennest wurde ein stationärer Leser (Mehrfachkanal-Leser) in Kombination mit einer Bodenantenne und wahlweise in Fußringen (RoxanID, LegBand, angepasst) eingelegte Wedge-Transponder (WTP) (12 mm, 134,2 kHz, HDX, Texas-Instruments) oder Glas-Transponder (GTP) (23 mm, 134,2 kHz, HDX, Texas-Instruments) eingesetzt.

Die Untersuchungen zum Auslaufverhalten wurden in Stallabteilen für je 750 Legehennen mit Kaltscharrraum und vier elektronischen Schlupflöchern je Abteil durchgeführt. Details zum Aufbau der elektronischen Schlupflöcher wurden bei WENDL und KLINDT WORTH (2000) vorgestellt. Die Beobachtungen zur Ermittlung der Identifizierungssicherheit wurden an zwei Herden der Herkunft Lohmann Tradition (Herde LT 8 und LT 10) sowie an einer Herde der Herkunft Lohmann Silver (Herde LS 8) durchgeführt. Daten zum Auslaufverhalten über eine gesamte Legeperiode wurden von der Herde LT 10 erfasst und ausgewertet.

Das Legeverhalten und die Leistungsparameter wurden mit dem Weihenstephaner Muldennest (Abb. 1) in Versuchsabteilen für 30 Legehennen mit vier Einzelnestern erfasst. Das Weihenstephaner Muldennest ist eine Weiterentwicklung des Marienseer AutoNests (MARX et al., 2002) und verfügt über sechs Fanggabeln, einen Nestboden in Muldenform, eine Ei-Wippe und eine Ei-Sammelrinne. Durch die Fanggabeln werden die Legehennen vereinzelt und das Nest bei Belegung verriegelt. Der Muldenboden, der auch zur Verriegelung dient, richtet die Hennen durch seine Muldenform im Nest aus, identifiziert mit der integrierten Bodenantenne die Hennen und gewährleistet ein sicheres Abrollen der Eier. Mit der Ei-Wippe werden die gelegten Eier registriert und können anhand ihrer Reihenfolge in der Ei-Sammelrinne der jeweiligen Henne zugeordnet werden. Die Untersuchungen wurden an zwei Herden der Herkunft Lohmann Tradition durchgeführt, bei Herde 1.1 (20 WTP und 10 GTP) dienten drei Federschalter als Ei-Sensor, bei Herde 3.0 (30 WTP) eine Ei-Wippe.

Eine Überprüfung der Identifizierungssicherheit erfolgte bei beiden Systemen anhand von Vergleichen zwischen Videoaufnahmen und den registrierten Daten, beim elektronischen Schlupfloch zusätzlich durch Stichprobentests. Die verwendete Videotechnik und die Vorgehensweise bei den Stichprobentests werden bei THURNER und WENDL (2005) erläutert. Mit derselben Videotechnik wurden beim Weihenstephaner Muldennest täglich von 4:30 Uhr bis 11:30 Uhr Aufnahmen von den vier Nestinnenräumen und der Ei-Sammelrinne durchgeführt und bezüglich Doppelbelegung der Nester, Ei-Ablagezeitpunkt und Registrierungszeitpunkt der Eier am Ei-Sensor ausgewertet.

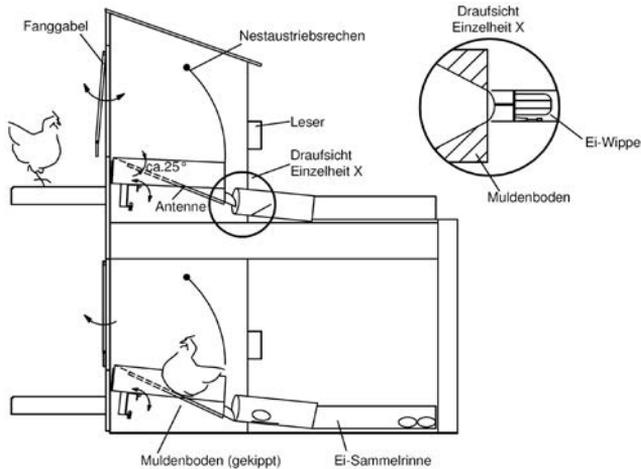


Abb. 1: Schemazeichnung des Weihenstephaner Muldennests  
*Sketch of the Weihenstephaner Funnel-Nest-Box*

### 3 Ergebnisse

Die Auswertung von Videoaufzeichnungen der Herde LT 10 an 3 Tagen mit mehr als 16.000 Durchgängen am elektronischen Schlupfloch ergab im Mittel eine Identifizierungssicherheit von 97,2 % (Abb. 2: dunkle Säulen). Zusätzlich wurden an 6 Tagen weniger arbeitsaufwendige Vorortkontrollen durchgeführt und insgesamt mehr als 4.000 Durchgänge ausgewertet. Prinzipiell konnte mit einer mittleren Identifizierungssicherheit von 97,4 % das Ergebnis der Videoauswertung bestätigt werden, wenngleich die Einzelwerte der Kontrollen zwischen 94,3 % bis 99,6 % schwankten (Abb. 2: helle Säulen).

Das Auslaufverhalten der Herde LT 10 wurde über eine gesamte Legeperiode (341 Tage) aufgezeichnet. Für die Auswertung wurden nur Hennen (726 Tiere), die über die gesamte Zeit in der Herde waren, berücksichtigt. Es zeigte sich, dass täglich maximal 50 % der Herde im Auslauf waren. Von allen Hennen haben etwa ein Drittel den Auslauf während der gesamten Legeperiode nie betreten, ein Drittel unregelmäßig und ein Drittel mehr oder weniger regelmäßig.

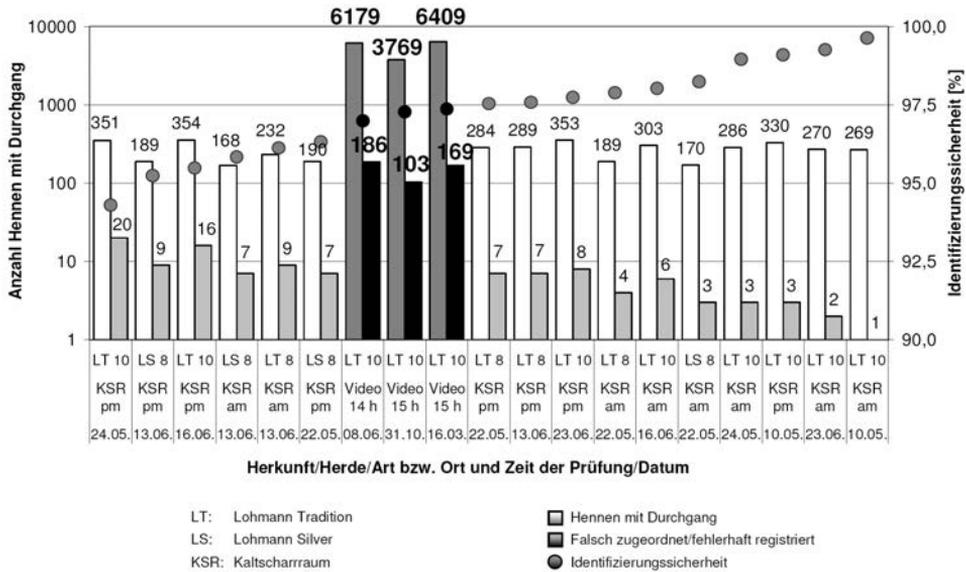


Abb. 2: Identifizierungssicherheit am elektronischen Schlupfloch  
*Identification reliability at the electronic pop hole*

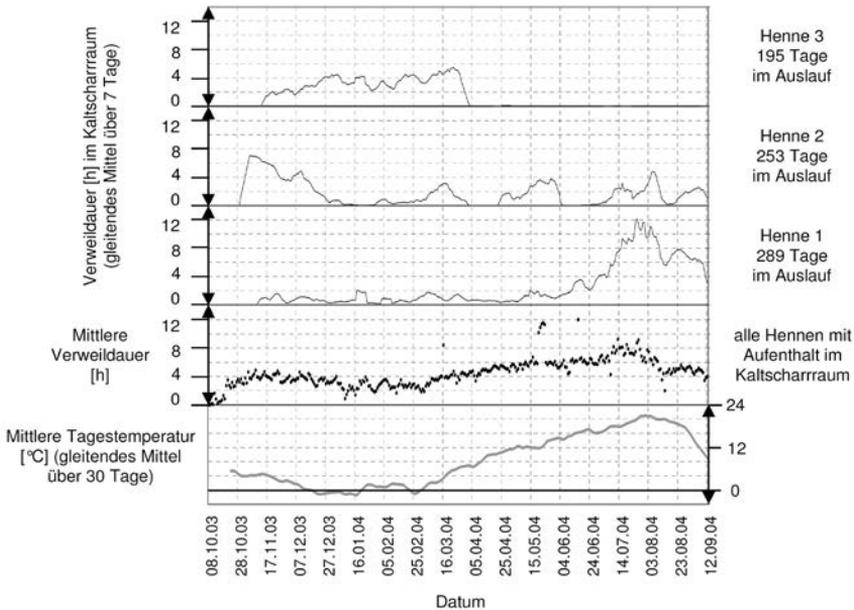


Abb. 3: Mittlere Tagestemperatur, mittlere Verweildauer aller Hennen im Kaltscharrraum und Verlauf der Auslaufnutzung beispielhaft dargestellt für drei Hennen  
*Average temperature per day, average staying time of all hens in the winter garden and gradient of the utilisation of the winter garden exemplarily shown for three hens*

Für die Auswertung der Aufenthaltsdauer im Kaltscharrraum wurden Einzelaufenthalte von über 10 Stunden (0,4 % der Fälle) nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass in diesen Fällen ein Identifizierungsfehler vorgelegen haben muss. Die mittlere Verweildauer der Hennen pro Tag im Kaltscharrraum (Abb. 3) erreichte schon ca. 4 Wochen nach der Einstellung mehr als 4 Stunden und Ende Juli einen Maximalwert von rund 8 Stunden.

Über die gesamte Legeperiode betrachtet, korrelierte die mittlere Verweildauer der Hennen pro Tag im Kaltscharrraum sehr gut mit der mittleren Tagestemperatur ( $r = 0,75$ ). Die in Abbildung 3 beispielhaft dargestellten Hennen (Henne 1 bis 3) zeigen die großen individuellen Unterschiede in der Nutzung des Kaltscharrraums.

Beim Weihenstephaner Muldennest konnte eine Doppelbelegung während der Eiablage und Ein-Nicht-Abrollen der Eier bei Herde 1.1 ganz verhindert werden, bei Herde 3.0 rollten alle Eier ab, allerdings waren bei 2,1 % der ausgewerteten Legevorgänge zwei Hennen im Nest. Beides hat zur Folge, dass das Ei nicht eindeutig einer Henne zugeordnet werden kann. Bei den Ei-Sensoren konnten die Federschalter 7 % der Eier nicht registrieren, da sie aufgrund der hohen Abrollgeschwindigkeit über oder neben den Federschaltern vorbeigerollt sind. Die Ei-Wippe konnte dagegen 99,7 % der gelegten Eier registrieren. Von den Hennen mit WTP wurden 85 % bzw. 91 % der Eier gleichzeitig, d. h. zur gleichen Sekunde, mit der Transpondernummer (TPNr.) registriert, bei den GTP waren es mehr als 99 % der Eier. Wenn bis zu 60 Sekunden vor dem Ei-Signal nach einer TPNr. gesucht wurde, so war es möglich, bei den WTP 99,0 % bzw. 99,7 % der Eier einer Henne zuzuordnen, bei den GTP waren es 100 %.

## 4 Diskussion

MÜLLER et al. (2001) verwendeten zur Untersuchung des Auslaufverhaltens ein ähnliches System und gehen von einer durchschnittlichen Identifizierungssicherheit von mehr als 99,8 % aus. Eine ähnlich hohe Identifizierungssicherheit wurde bei früheren Untersuchungen zum elektronischen Schlupfloch erreicht (WENDL und KLINDTWORTH, 2000). Allerdings wurde in beiden Untersuchungen die Identifizierungssicherheit nur mit den automatisch registrierten Daten rechnerisch ermittelt. Die Auswertung von Videoaufzeichnungen zeigt eine etwas höhere Fehlerquote, da auch mehrere unregistrierte Ortswechsel erkannt werden. Zudem ist bei einer größeren Herde (750 Tiere) davon auszugehen, dass die Passagegeschwindigkeit im Schlupfloch höher sein kann und daher einige Identifizierungsfehler auftreten können.

MÜLLER et al. (2001) konnten bei ihren Untersuchungen bei der Herkunft Lohmann Tradition feststellen, dass 10 % bzw. 42 % der Hennen den Auslauf nicht nutzten; der in dieser Untersuchung ermittelte Anteil von 31% der Hennen bestätigt diese Beobachtung. Der Anteil der Hennen im Auslauf wurde bei HARLANDER-MATAUSCHEK et al. (2001) für die Herkunft Isa-Brown mit 25 %–40 % angegeben, also deutlich niedriger als in den eigenen Untersuchungen ( $< 50$  %). Einen Einfluss der Jahreszeit und damit der Tagestemperatur auf die tägliche Aufenthaltsdauer der Hennen im Auslauf konnten auch STAMP DAWKINS et al. (2003) analog bei Masttieren beobachten.

Das Problem von nicht abgerollten Eiern, das bei MARX et al. (2002) beobachtet wurde und bei BUREL et al. (2002) bei acht Prozent der Eier aufgetreten ist, konnte mit dem Weihenstephaner Muldennest weitgehend gelöst werden. MARX et al. konnten mit dem WTP und einer anderen Leseinheit 96 % der Eier einer TPNr. zuordnen, beim Weihenstephaner Muldennest waren es mit dem WTP mehr als 99 % der Eier, wenn maximal 60 Sekunden vor dem Ei-

Signal nach einer TPNr. gesucht wurde. Mit dem größeren GTP konnte zu allen Eiern eine TPNr. gefunden werden.

## 5 Fazit und Ausblick

Das elektronische Schlupfloch kann als ausgereiftes System für Untersuchungen zum Auslaufverhalten betrachtet werden. Ein Kritikpunkt bleibt der relativ enge Schlupf, der eventuell zu Beeinflussungen des Auslaufverhaltens führen kann. In weiterführenden Untersuchungen soll ein System mit alternativer Lesetechnik und breiterem Schlupf getestet werden.

Die Ergebnisse zum Weihenstephaner Muldennest wurden in kleineren Versuchsherden ermittelt und sind sehr vielversprechend. Demnächst wird das Muldennest in einer größeren Herde mit 300 Legehennen getestet.

## 6 Literatur

BUBIER, N. E.; BRADSHAW, R. H. (1998): Movement of flocks of laying hens in and out of the hen house in four free range systems. In: *British Poultry Science* 39, p. 5–6.

BUREL, C.; CISZUK, P.; WIKLUND, B.-S.; BRÄNNÄS, E.; KIESSLING, A. (2002): Note on a method for individual recording of laying performance in groups of hens. In: *Applied Animal Behaviour Science* 77, p. 167–171.

HARLANDER-MATAUSCHEK, A.; FELSENSTEIN, K.; NIEBUHR, K.; TORXLER, J. (2001): Der Einfluss der Schlupflochbreite auf die Auslaufnutzung von Leghennen. In: *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2001*, KTBL-Schrift 407, S. 182–187.

MARX, G.; KLEIN, S.; WEIGEND, S. (2002): An automated nest box system for individual performance testing and parentage control in laying hens maintained in groups. In: *Archiv für Geflügelkunde* 66 (3), S. 141–144.

MÜLLER, J.; HILLIG, J.; VON BORELL, E.; THIES, N. (2001): Untersuchungen zur Akzeptanz des Auslaufs durch Legehennen in einem Haltungssystem mit Wintergarten und Grünauslauf. In: *Lohmann Information* 4/2001, S. 3–7.

PREISINGER, R. (1998): Neue Linienkombinationen für Alternativhaltung. In: *Lohmann Information* 3/98, S. 17–19.

STAMP DAWKINS, M.; COOK, P. A.; WHITTINGHAM, M. J.; MANSSELL, A.; HARPER, A. E. (2003): What makes free-range broiler chickens range? In situ measurement of habitat preference. In: *Animal Behaviour* 66, p. 151–160.

THURNER, S.; WENDL, G. (2005): Tierindividuelles Auslaufverhalten von Legehennen – automatische Erfassung mit RFID-Technologie. In: *Landtechnik 2005 in Druck*.

WENDL, G.; und KLINDT WORTH, K. (2000): Elektronische Tierkennzeichnung von Legehennen. In: *Landtechnik* 55 H. 5, S. 364–365.

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

## Smart Livestock Farming mit Individual Digital Assistants *Smart Livestock Farming with Individual Digital Assistants*

CHRISTINA UMSTÄTTER

Lehrstuhl für Landtechnik, Technische Universität München, D-85350 Freising  
Ab 01.01.05: Hill and mountain research Centre, Kirkton, Criarlarich, FK20 8RU, Perthshire, UK

**Keywords:** Health monitoring, learning machines, mobile robot, tracking system

**Schlüsselwörter:** Gesundheitsüberwachung, Lernsysteme, Mobile Roboter, Tracking System

### Summary

*Further trends in livestock farming will comprise smart rather than precise interactions with our farm animals. From an economical point of view the requirements will involve modern technologies like robotics, artificial intelligence, sensors, learning machines, and data or knowledge bases. This development is aimed at all farm species but initially an implementation is supposed to be done for dairy cows due to their higher individual value. The core of Smart Livestock Farming is a system what we can called IDA, which consists of an animal tracking system, sensors and the possibility to store, analyse, and transfer data. An IDA will be attached to the body of each animal and is connected to a remote PC. This server can link the animals with modern technologies like robots, guiding systems, learning machines, etc. The collected data will be analysed with respect to behaviour, health, emotional, and hormonal status. Aim is to improve animal welfare and productivity with a parallel support of the herd manager.*

### Zusammenfassung

*Die zukünftige Entwicklung in der Tierhaltung wird vielmehr im intelligenten als präzisen Umgang mit unseren landwirtschaftlichen Nutztieren liegen. Diesen neuen Anforderungen können wir aus ökonomischer Sicht nur mit Hilfe moderner Technologien, wie dem Einsatz von Robotern, Künstlicher Intelligenz, Sensoren, Lernsystemen und Daten- oder Wissensbanken, gerecht werden. Grundsätzlich gilt dies für alle landwirtschaftlichen Nutztierarten, allerdings wird, aufgrund des höheren Wertes des Einzeltieres, solch ein System voraussichtlich zunächst im Milchviehbereich eingesetzt. Das Kernstück beim Smart Livestock Farming ist das IDA-System. Dieses System besteht aus einem Tracking System für Tiere, Sensoren und der Möglichkeit Daten zu speichern, zu analysieren und an einen zentralen PC weiterzugeben. Es kann am Körper des Tieres angebracht und mit dem zentralen PC verbunden werden. Dieser zentrale PC ist dann in der Lage die Tiere mit moderner Technik, wie zum Beispiel mit Robotern, Führungs- und Lernsystemen zu verbinden. Die gesammelten Daten können hinsichtlich des Tierverhaltens, der Tiergesundheit, des emotionalen und hormonellen Zustands der Tiere ausgewertet werden. Ziel ist es das Wohlbefinden der Tiere und deren Produktivität zu verbessern, bei gleichzeitiger Unterstützung des Herdenmanagers.*

## 1 Introduction

In modern husbandry systems we already use Precision Livestock Farming (PLF). For instance in Automatic Milking Systems (AMS). However, practical experiences with animals have revealed that it is insufficient to just be precise. We need cybernetic husbandry systems, which provide interaction between special equipment and animals. Technology has to react to the demands of the individuals. Therefore it is necessary to reach a sufficient and reliable animal welfare standard by artificial intelligence. As a consequence we need Smart Livestock Farming (SLF) rather than PLF. SLF can be defined as a domain of agricultural husbandry systems, which uses a network of technologies like robotics, artificial intelligence, sensors, learning machines, and data or knowledge bases, considering not only economic and ecologic aspects but also in a balanced way ethical issues. In order to fulfil this task in various environments, indoors or outdoors, the demands of the individuals have to be studied.

## 2 Different Strategies

In principle, animal control with data collection for SLF can follow three strategies:

- The animal monitoring is managed from a remote system
- The animal monitoring is managed by a single intelligent system attached to each individual
- The tasks are split by use of a device what we can call an Individual Digital Assistant (IDA) that has direct contact to the individuals but is additionally connected to a remote system, monitoring related individuals.

In the first strategy a remote system receives all data from each individual for further processing and analysis. The employed PC therefore needs tremendous calculating capacity. Moreover, a system error would inhibit the data recording for the entire herd.

The second possibility is based on a multitude of small units, which are not dependent on each other. Therefore a sensible network between the units is very complex since guiding technologies rely upon data of other herd mates.

The third way of implementation allows to collect individual data via an IDA, that stays in direct contact to an animal. We can store data for an adequate period of time, just in case of a system failure of the remote system. Some analysis can be done on site of each individual. Moreover there is an interaction between the system attached to the animal and the remote PC. The main data storage and analysis is done on the PC. Further technologies can be linked and used for or by the animal. This implementation is the most probable and sensible and is addressed in the following paragraphs.

## 3 Aims of IDAs

The basic principles of an IDA are similar to modern PDAs (Personal Digital Assistant) for humans. This analogy is reason for the nomenclature of the system described here. The purpose of IDAs is to monitor, control and guide animals. The IDA transfers the relevant data to a server that stays in contact with guiding technologies, learning machines, milking robots, etc. Therefore, it will be an essential part of SLF. Such an IDA can be a small useful device,

not only to collect all important data associated with the animal, but also to give some helpful instructions at the right time and in the right place, e. g. to visit the AMS. Acoustic, visual or tactile signals can be given.

The system shall collect data from different sensors, which are integrated in the IDA. Only the results have to be send to the central workstation. Its core comprises an animal tracking system. It can induce actions of robots or other technologies to the animal. We know the positions of individuals and probably what they are doing. The acquisition of three-dimensional position sensing over time enables us to derive information about the behaviour. This is a key information for the assessment of health condition, learning behaviour, place in the hierarchy, oestrus, perinatal period, etc. Other sensors can be used to complete the view. Approaches to improve health care are not only interesting for livestock farming. PICARD and DU (2002) presented a system which “seeks to facilitate stress data collection with an eye towards improving health and healthcare ... The new approach to data processing and interface usability feedback has the potential to evolve into a system that functions as an accurate and informative health aid to all users.” The system presented by PICARD and DU comprises two sensors and a cell phone among other things.

Theoretically it is possible to use IDAs for every species of farm animals but there are two important parameters, which have to be considered. A major issue is the size of the IDA compared to the animal. It will be easier to produce such a system for larger animals before starting to miniaturise it. Another important aspect is the economical feasibility. There is a strong correlation between size of an animal, its value and the willingness to treat it as an individual.

The question of positioning the IDA depends on sensors used and its size and weight. It is appropriate to locate the tracking system around the neck. Therefore the IDA is attached to a collar as displayed in figure 1. This figure shows sensor aided monitoring of breeding sows as an example, due to its broad application. Note that the sensors do not necessarily have to be build in one frame but can be attached to different places on the body instead.

Some very interesting questions that arise in respect of the behaviour in front of electronic sow feeding system are:

- Do sows have long queuing times?
- Has the behaviour changed during the last days?
- Do fights occur in front of the entry?

If there is a change in behaviour it might have sanitary or hormonal reasons. Both causes are of major interest to the herd managers. These basic questions do not change much for different species. They can decide by themselves, but we have to help them in this decision making, because their instincts has to be triggered, at the right time with adequate signals.

The practical use of AMS in farms started about 10 years ago. Technical problems like teat cup attachment had to be solved first. These days, system designers have to focus more and more on animal behaviour. In free cow traffic there are some obstacles in motivating the cows to go to the AMS voluntarily.

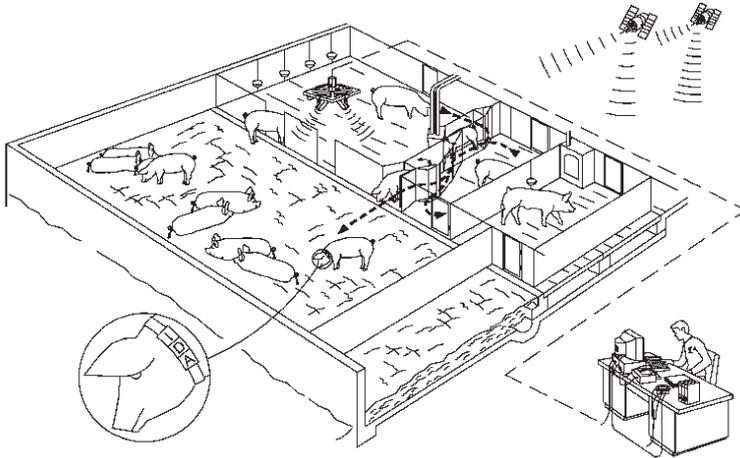


Fig. 1: Sensor aided monitoring of breeding sows taken as an example

Attraction has to be triggered by food which is nevertheless very unspecific. Under natural conditions the process of milking is initiated by the calf and not by the cow. In so far cows can not know the best time for milking, and it is difficult for them to find out their optimised milking interval for highest milk yield. Experiments of RABOLD (1985) have already shown that milking is not an activity cows do like very much. Moreover they avoid the milking box if the udders exceed a special level of pressure (PRESCOTT et al., 1998). The motivation used most often is the concentrate given in AMS, but there is no correlation of appetite and the optimal time for milking. From an evolutionary point of view cows produce milk only when in contact with a calf providing it retains this contact. A smart IDA would be able to lead the cow to the AMS by considering an optimised milking interval.

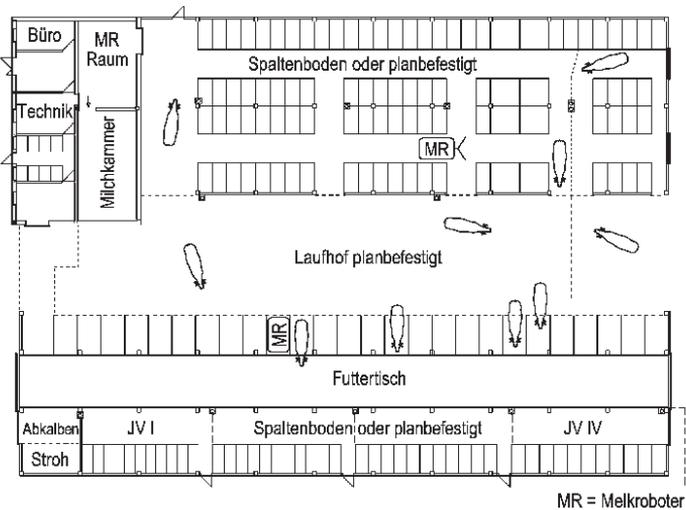


Fig. 2: Mobile Milking Robots

The problem of cow motivation in an AMS was reduced in recent years by forced cow traffic. Within such systems cows are constricted by barns. Apart from that an optimised milking interval cannot be achieved by forced cow traffic and as a result the cows just visit the milking box more often. A better solution for this problem in terms of motivation and optimisation by IDAs embedded in SLF would be much more appreciated. In the near future it is further conceivable that cows will be milked by mobile milking robots (fig. 2).

The problem of cow motivation will then be negligible but a milking robot must know the current location of each cow. Each cow must be tracked and the milking intervals have to be assessed. The fixation for the milking procedure can be arranged during feed intake. The mobile robot can run in different operational modes like guiding, milking, and training.

Existing technologies to create an IDA

Possibly the development of an IDA sounds a little futuristic for some people but technologies already exist that point at the right direction. One example is the storage-telemetry-system ETHOSYS®. This system consists of three main components (data recorder, link station, and computer). Integrated sensors store data about the head position and the movement. The system is targeted on the evaluation of living conditions, behaviour and internal state of free-ranging animals (e. g. SCHEIBE et al.; 1999). The enhanced System is combined with GPS (IMF technology GmbH, Frankfurt/Oder). Since GPS cannot be used indoors we have to utilise other tracking technologies like UWB (Ultra Wide Band) or LPM (Local Position Measurement Technology).

It is feasible to combine sensors that simultaneously measure heart rate, electro dermal activity, electronic noses, etc. although those sensors are not yet fully developed for long term studies. The major issue is to evaluate the condition of a cow by the multivariate time series obtained from all those sensors. This is the only way to improve animal welfare and productivity since the condition of a complex system like an animal cannot be assessed by just one sensor.

Over the past years interesting approaches could be observed in other research fields to improve the interaction between technology and individual. These approaches can be summarised by the term "affective computing". "Affective Computing is computing that relates to, arises from, or deliberately influences emotions" (M.I.T. Media Lab). PICARD et al. (2001) investigated the question whether "a wearable computer" could "be designed to recognize a person's emotion over an extended period of time?" They used four skin-surface sensors (electromyogram, skin conductance, blood volume pulse, and respiration), freshly mounted in the same way each day, for long term monitoring. Such parameters could also be interesting for animals. If the emotional state of the animal is known its control and training is superior. This is the basis to get an optimum or even maximum in performance for each individual cow. In agriculture the application of such systems always starts by discussing the economical point. Certainly this is a system which is by no means fully developed and ready for use in the near future. But we have to bring to mind that PCs and a growing number of sensors are already part of our lives. "It is easy to find 40 microprocessors in a middle class home in the U.S.A. today." (WEISER and BROWN, 1996). The two authors forecast a new era called "ubiquitous computing" (UC), which means "lots of computers sharing each of us. Some of these computers will be the hundreds we may access in the course of a few minutes of Internet browsing.

Others will be imbedded in walls, chairs, clothing, light switches, cars – in everything. UC is fundamentally characterized by the connection of things in the world with computation ... When our world is filled with interconnected, imbedded computers, calm technology

will play a central role in a more humanly empowered twenty-first century." If such scenarios come true, it is inevitable they will enter our barns.

## 5 Conclusions

SLF would be able to create an environment in which animals can get feed-back information e.g. about the best time of milking or the best location for lying. The data about interactions with herd mates, speed of walking, feeding periods, etc. has to be saved in a database and filtered for a special knowledgebase that can be used by an inference machine in an expert system. The IDA could act on the one hand as a data gathering system and on the other hand as a system that could give directly some instructions. In a mobile milking robot system, e.g. it may give some support in learning to find and use the milking box in optimal intervals. The IDA has to learn from the cow, and the cow has to follow its smart guidance.

## 6 References

PICARD, R. W.; DU, C. (2002): Monitoring Stress and Heart Health with a Phone and Wearable Computer, *Motorola Offspring Journal* 1, H. Nov., 14–22, Online in Internet: URL: <http://affect.media.mit.edu/pdfs/02.picard-du.pdf>.

PICARD, R. W.; VYZAS, E.; HEALEY, J. (2001): Toward Machine Emotional Intelligence: Analysis of Affective Physiological State, *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence* 23, H. 10, 1–9, Online in Internet: URL: <http://affect.media.mit.edu/pdfs/03.picard.pdf>.

PRESCOTT, N. B.; MOTTRAM, T. T.; WEBSTER, A. J. F. (1998): Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system, *Applied Animal Behaviour Science* 57 (1–2), 23–33.

RABOLD, K. (1985): Einfluß von Melk- und Fütterungsfrequenz auf die Ausprägung wichtiger Leistungsmerkmale bei Kühen, in: *Wissenschaftliche Tagung: Wechselwirkungen zwischen Tier, Umwelt und Leistung in der Rinderproduktion aus technologischer und züchterischer Sicht*, Humboldt Universität zu Berlin (Hrsg.), Berlin, 216–227.

SCHEIBE, K. M.; BERGER, A.; LANGBEIN, W. J.; EICHHORN, K. (1999): Comparative Analysis of Ultradian and Circadian Behavioural Rhythms for Diagnosis of Biorhythmic State of Animals, *Biological Rhythm Research* 30; H. 2, 216–233.

WEISER, M.; BROWN, J. S. (1996): The Coming Age of Calm Technology[1], Xerox PARC, Oct. 5, Online in Internet: URL: <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/acmfuture2endnote.htm>.

## Methanerzeugung aus Getreide, Wiesengras und Sonnenblumen: Einfluss des Erntezeitpunktes und der Vorbehandlung

### *Methane production from cereals, grass and sunflowers: Effect of harvesting time and pre-treatment on the methane yield*

THOMAS AMON, VITALIY KRYVORUCHKO, VITOMIR BODIROZA, BARBARA AMON

Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien

**Schlüsselwörter:** Biogaserzeugung, Energiepflanzen, Getreide, Wiesengras, Sonnenblumen  
**Keywords:** Biogas production, anaerobic digestion, energy crops, cereals, grassland, sunflowers

### **Zusammenfassung**

Die Biogaserzeugung ist eine Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Nutzung agrarischer Biomasse. Der Biogasertrag pro Hektar ist ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit. Sortenwahl, Entwicklungsstadium der Pflanzen, Konservierung und Vorbehandlung beeinflussen den Methanertrag. Bei Getreide wurden folgende Erträge gemessen: 4.415 und 4.002 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup> (Weizen), 3.380 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup> (Roggen) und 3.109 und 3.210 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup> (Triticale). Mit fortschreitender Vegetationsentwicklung nahmen die spezifischen Methanausbeuten ab, während der Trockenmasseertrag zunahm. Für hohe Methanerträge ist bei frühreifen Getreidearten die Ernte ab dem Vegetationsstadium „Ährenschieben“ empfehlenswert. Bei spätreifen Getreidearten liegt der optimale Erntetermin später, im Stadium „Teigreife“. Um die Silierfähigkeit zu erhalten, sollte die Biomasse nicht mehr als 45 % TM enthalten. Der Voraufschluss der Silagen von Sonnenblumen und Wiesengras mit Dampf, Mikrowellen oder Säuren erhöht die Methanausbeute.

### **Summary**

Biogas production is of major importance for a sustainable use of agrarian biomass as renewable energy source. Economic biogas production depends on high biogas yields. Key factors for a maximum biogas yield are species and variety of energy crops, time of harvesting, mode of conservation and pre-treatment of biomass prior to the digestion process. The following methane yields were measured: 4,415 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup>, and 4,002 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup> (wheat), 3,380 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup> (rye), and 3,109 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup>, and 3,210 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> × ha<sup>-1</sup> (triticale). Specific methane yield declined in course of the vegetation period, whereas total biomass yield increased. With early ripening cereals, high methane yields per hectare can be achieved through harvesting at the vegetation stage ear emergence. Late ripening cereals should be harvested later, at the vegetation stage wax ripeness. However, dry matter content of biomass should not exceed 45 % to allow silaging. Pre-treatment of sun flower and grass silages by steam, micro wave or acidification increased methane yields.

# 1 Einführung

Der Biogasenertrag wird vom Nährstoffgehalt der Gärrohstoffe beeinflusst. Auf dessen Qualität wirken in verschiedenen Phasen entlang der Erzeugungs- und Nutzungskette zahlreiche Einflüsse (Abbildung 1).

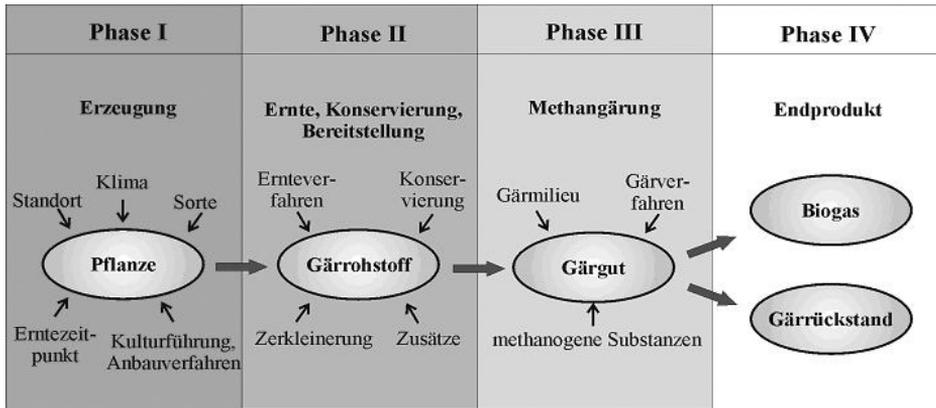


Abb. 1: Einflüsse auf die Qualität der Pflanzenbiomasse, des Gärrohstoffes und des Gärgutes bei der Nutzung von Energiepflanzen in der Biogaserzeugungskette  
*Influences on the quality of biomass, raw materials for anaerobic digestion and digestate when using energy crops along the biogas production chain*

Die Qualität von Energiepflanzen zur Biogasnutzung wird bereits auf dem Feld (Phase I) geprägt. Neben Standortfaktoren bestimmen vor allem pflanzenbauliche Maßnahmen und Einflüsse, wie Sortenwahl, Kulturführung und die Reifeentwicklung der Pflanzen zum Zeitpunkt der Ernte, den Gehalt und die Verfügbarkeit von Substanzen in den Pflanzen, aus denen Methan gebildet werden kann.

# 2 Ziele

Bei der Biogaserzeugung aus Weizen, Triticale und Roggen werden Methanhektarerträge und das optimale Reifestadium für die Ernte der Bestände bei verschiedenen Sortentypen ermittelt. Dazu werden im Verlaufe der Vegetation das spezifische Methanbildungsvermögen der Gärrohstoffe und der Biomassertrag der Bestände von jeweils zwei verschiedenen Sorten zu je fünf verschiedenen Entwicklungsstadien der Bestände untersucht.

Die Methanausbeute aus Gärrohstoffen kann durch Cellulose-Lignin-Komplexe vermindert sein. Die Wirkung verschiedener Verfahren der Vorbehandlung auf die spezifische Methanausbeute wird deshalb untersucht. Sonnenblumen, Wiesengras, Weizen und Triticale wurden mit Dampf, Mikrowellen und Säure zum Voraufschluss der Rohfaserfraktion behandelt.

### 3 Material und Methode

Die Versuche umfassen Ertragsmessungen in Sortenversuchen, sowie Stoff- und Energie-wechselmessungen der anaeroben Vergärung verschiedener Energiepflanzen. Als Einflüsse wurden der Nährstoffgehalt der Gärrohstoffe und die Art der Vorbehandlung untersucht. Die Untersuchungen wurden mit Weizen, Triticale, Roggen, Wiesengras und Sonnenblumen durchgeführt. Die Ernte der Bestände erfolgte im Verlaufe der Vegetation zu jeweils fünf verschiedenen aufeinanderfolgenden Erntezeitpunkten beginnend mit früher Vegetationsentwicklung bis zur Vollreife der Pflanzen (Abbildung 2).

In jedem Reifestadium der Bestände wurden Biomasseerträge ermittelt. Die gewonnenen Proben wurden zerkleinert, aufbereitet und einsiliert. Das spezifische Methanbildungsvermögen der Gärrohstoffe wurde nach DIN-38414 bestimmt. Aus den Ergebnissen der Ertragsmessungen der Pflanzenbestände und der spezifischen Methanbildung der Gärrohstoffe wurde der Methanhektarertrag im Verlaufe der Vegetationsentwicklung berechnet. Der optimale Erntezeitpunkt ist dann erreicht, wenn der Methanhektarertrag maximal und die Biomasse silierfähig ist.

Der Einfluss der Vorbehandlung auf die spezifische Gasausbeute wurde bei der Vergärung von Sonnenblumen und Wiesengras untersucht. Folgende Vorbehandlungsmaßnahmen wurden jeweils geprüft:

- Dampfbehandlung: Druck 0,4–0,8 bar, Temperatur 109–116 °C, Einwirkdauer 1 Stunde.
- Mikrowellenbehandlung: Zu 90 g Probenmaterial wurden 200 g Wasser zugegeben und 15 Minuten lang bei einer Leistung von 560 Watt behandelt.
- Säurebehandlung: Mit Zitronensäure ( $C_6H_8O_7$ )  $M = 192,13$  g/mol; Dosierung: 60 g von 20 %iger Zitronensäure zu 30 g Probenfrischmasse. Einwirkdauer 24 Stunden.



Abb. 2: Winterweizenbestand (Sorte: Capo) zum jeweiligen Erntezeitpunkt. Standort: Loimersdorf, Niederösterreich  
*Winter wheat (variety Capo) grown at Loimersdorf / Upper Austria at different stages of vegetation*

## 4 Ergebnisse

Methanhektarerträge und optimales Reifestadium. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Methanhektarerträge [ $\text{Nm}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$ ] von Roggen (Beskud), Triticale (Tremplin, Talentro) und von Weizen (Capo, Levendis) sowie die spezifischen Methanerträge [ $\text{Nm}^3 \text{CH}_4 \cdot (\text{kg oTS})^{-1}$ ] der Gärrohstoffe im Vegetationsverlauf.

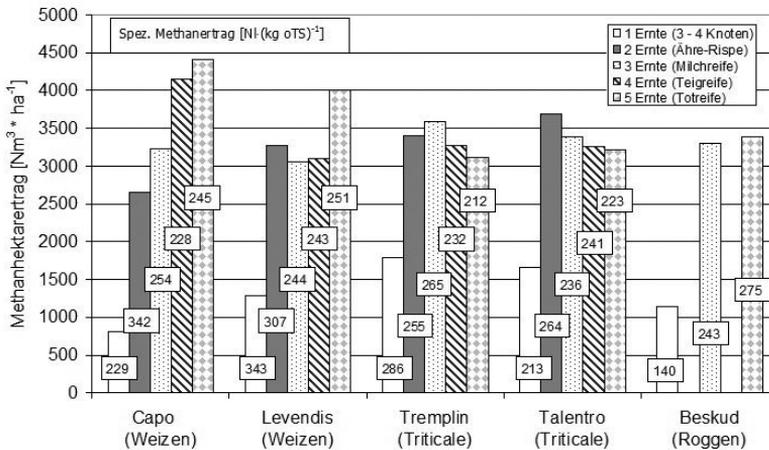


Abb. 3: Spezifischer Methan- und Methanhektarertrag von Roggen, Triticale und Weizen im Vegetationsverlauf. Standort: Loimersdorf, Niederösterreich  
*Specific methane yield and methane yield per hectare from rye, triticale and wheat in course of the vegetation period*

Wie aus Abbildung 2 zu erkennen ist, waren die spezifischen Methanerträge der Gärrohstoffe in den Vegetationsstadien „Ährenschieben“ (ECA 57–59) bis „Milchreife“ (ECA 74–75) am höchsten. Der TM-Gehalt der Gärrohstoffe lag zwischen 22 und 34 %. Im weiteren Verlauf der Vegetation nahmen die spezifischen Methanerträge der Gärrohstoffe im Allgemeinen ab. Ab den Vegetationsstadium „Teigreife“ (ECA 84–85) hatten die Gärrohstoffe i. d. R. einen Trockenmassegehalt von mehr als 35–40 %. Bei Biomasse mit mehr als 40 % TM nimmt die Silierbarkeit ab.

Bei Roggen und Triticale wurden maximale Methanhektarerträge schon ab den Entwicklungsstadien „Ährenschieben“ (ECA 57–59) bzw. „Milchreife“ (ECA 74–75) erreicht. Das Ertragniveau von Roggen und Triticale war ähnlich hoch. Triticale der Sorte Tremplin erreichte den maximalen Methanhektarertrag von  $3.581 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$  Ende Juni im Stadium der „Milchreife“ (ECA 74–75), während auf demselben Standort die Sorte Talentro den maximalen Methanhektarertrag  $3.686 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$  schon Anfang Juni im Vegetationsstadium „Ährenschieben“ (ECA 57–59) erreichte.

Roggen und Triticale erreichten maximale Methanhektarerträge früher in der Vegetation als Weizen. Weizen erreichte höchste Methanhektarerträge erst gegen Ende der Vegetation. Je nach Sorte wurden zwischen  $4.002$  und  $4.415 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$  erzielt. Beim Weizen zeigte die Sorte Capo im Vergleich zur Sorte Levendis in der Jugendentwicklung niedrigere Biomassezuwächse. Mit Beginn der generativen Phase der Bestände bildete die Sorte Capo

deutlich mehr Biomasse als die Sorte Levendis. Entsprechend waren Verlauf und Höhe der Biomasse- und Methanhektarerträge der beiden Weizensorten unterschiedlich ausgeprägt.

**Behandlung der Biomasse.** Tabelle 1 zeigt den spezifischen Biogas- und Methanertrag mit Mittelwert ( $\bar{\chi}$ ), Anzahl der Wiederholungen (n) und der Standardabweichung des Mittelwertes ( $\pm s$ ) bei der Vergärung von unbehandelten Sonnenblumen und Wiesengras im Vergleich zu den mit Dampf, Mikrowellen und Zitronensäure vorbehandelten Gärrohstoffen. Bei Sonnenblumen führten Dampf- und Mikrowellenbehandlung der Gärrohstoffsilage zu einer deutlichen Steigerung des spezifischen Methanertrages um 65–82 % im Vergleich zum unbehandelten Gärrohstoff. Durch die Säurebehandlung wurde ein Mehrertrag von 16 % erreicht. Verfahren der Dampf- und Mikrowellenbehandlung führten auch bei Wiesengras zu Steigerungen des spezifischen Methanertrages um 23 % bzw. 29 % im Vergleich zu unbehandeltem Wiesengras.

Tab. 1: Spezifischer Biogas- und Methanertrag mit Mittelwert ( $\bar{\chi}$ ) und Standardabweichung ( $\pm s$ ) und relative Änderung des Ertrages von Sonnenblumen und Wiesengras bei unterschiedlicher Vorbehandlung mit Dampf, Mikrowellen und Säure. (Anzahl der Wiederholungen = 3)  
*Specific biogas and methane yield from sun flowers and grass and influence of pre-treatment*

Variante	Spez. Biogasertrag [NI Biogas · (kg oTS) <sup>-1</sup> ]			Spez. Methanertrag [NI CH <sub>4</sub> · (kg oTS) <sup>-1</sup> ]		
	$\bar{\chi}$	$\pm s$	%	$\bar{\chi}$	$\pm s$	%
Sonnenblumen unbehandelt	439	21	100	243	10	100
Sonnenblumen dampfbehandelt	649	19	148	402	9	165
Sonnenblumen mikrowellenbehandelt	709	26	162	443	12	182
Sonnenblumen säurebehandelt	476	31	108	281	15	116
Wiesengras unbehandelt	577	13	100	309	9	100
Wiesengras dampfbehandelt	682	50	118	380	28	123
Wiesengras mikrowellenbehandelt	737	45	128	399	26	129
Wiesengras säurebehandelt	504	46	87	282	10	91

## 5 Schlussfolgerungen

Weizen, Triticale und Roggen sind für die Biogaserzeugung gut geeignet. Triticale und Roggen sind auf Grund ihres hohen Biomassebildungsvermögens in relativ frühen Entwicklungsstadien besonders gut als Vorfrüchte, z. B. vor Mais oder für den Zwischenfruchtanbau geeignet.

Um hohe Methanerträge bei guter Silierfähigkeit der Gärrohstoffe zu erreichen, ist bei frühreifen Getreidearten, wie z. B. Triticale und Roggen, die Ernte ab dem Vegetationsstadium „Ährenschieben“ (ECA 57–59) empfehlenswert. Bei spätreifen Getreidearten, wie z. B. Winterweizen, liegt der optimale Erntetermin später in der Vegetation, wenn die Bestände das Stadium Teigreife (ECA 84–85) erreicht haben. Um die Silierfähigkeit der Gärrohstoffe zu erhalten sollte die Biomasse nicht mehr als 45 % TM in der FM enthalten.

Der Voraufschluss von Gärrohstoffen mit Dampf, Mikrowellen oder Säuren wirkt sich vor allem bei der Nutzung von rohfaserreichen Gärrohstoffen besonders positiv auf die Methan- ausbeute aus.

### **Danksagung**

Die Untersuchungen werden im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“, einer Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), durchgeführt. Beteiligt sind: Raiffeisen Ware Austria AG, Pioneer Saaten Ges.mbH. Parn- dorf (Austria), Industrie-Produktions- und umwelttechnisches Service (IPUS), GE Jenbacher, Schmack Biogas, Nawaros- Bioenergie und Rohstoff.

## Ermittlung der Gaserträge unterschiedlicher Cofermente in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

### *Monitoring biogas yields for different input materials on farm biogas plants*

WALDEMAR GRUBER

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Endericher Allee 60, D-53115 Bonn

**Schlüsselwörter:** Biogasanlage, Biogas, Landwirtschaft, Coferment, Gülle  
**Keywords:** *Biogas plant, farm, input material, co-ferment, liquid manure*

### **Zusammenfassung**

Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen hat in den vergangenen Jahren drei Biogasgroßanlagen auf eigenen Lehr- und Versuchsanstalten in Betrieb genommen. Darüber hinaus wurden im Rahmen von Monitoringprojekten Biogasanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben betreut. Ziel aller Aktivitäten ist es, weitgehend abgesichertes Datenmaterial hinsichtlich der wesentlichen Planungsparameter für Biogasanlagen zu erarbeiten. Hierbei spielen die spezifischen Gasausbeuten unterschiedlicher Inputmaterialien und der Energiegehalt des Biogases eine wesentliche Rolle.

Bei den Versuchen werden die Gutströme mit induktiven Durchflussmessern für die flüssigen Substrate und mit Waagen für die Feststoffe ermittelt. Die Gülle wird auf Nährstoff- und Trockensubstanzgehalt hin untersucht. Die Kofermente unterzieht man der Weender Futteranalyse. Über den Untersuchungszeitraum werden aus dem Fermenter Proben gezogen und auf Fettsäuremuster und pH-Wert untersucht. Über die Versuchszeiträume erfolgen durch ein stationäres Messgerät Gasanalysen auf die Methan-, Schwefel- und Sauerstoffgehalte im Biogas.

### **Summary**

The Nordrhein-Westfalen chamber of agriculture set in operation three biogas plants last years which were meant to be surveyed for several years. Besides, agricultural inputs of biogas plants on farms were monitored. Operating costs, quantity and quality of biogas dependent on different input materials were investigated. Three kinds of input materials were tested: fragments of sugar beets, maize silage and waste of cabbage. Recorded data were compared with results of laboratory trials and calculated results in order to survey the fermentation process.

Calculated biogas amounts and measurements of biogas quantity on large-scale-plants showed rather small differences. When agricultural co-ferments were used contents of CH<sub>4</sub> lay below 55 %. Once, the fermentation process in the digester had adapted to co-ferments, quantity of biogas production increased. In order to achieve an easy way to the print procedures we like to put the following format service to your disposal. In the following you will find the complete set of necessary format information for text, tables and figures etc.

## 1 Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Im Herbst 2002 und 2003 wurden Versuchsreihen mit Rübenbruchstücken, die als Abfallprodukt bei der Zuckerherstellung über die gesamte Kampagne anfallen, durchgeführt. Die Rübenbruchstücke wiesen einen durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 16,30 % auf. Im Mittel wurde 2002 täglich eine Frischmasse von 6,039 t in den Fermenter eingebracht, die durchschnittlich zugegebene Güllemenge betrug 6,75 m<sup>3</sup>/d. Die Beschickung des Fermenters mit festen Kosubstraten geschieht über einen Feststoffdosierer, der die Zufuhr in 6 Teilmengen/d vornimmt.

In Abb. 1 ist die Befüllung über den Versuchszeitraum dargestellt, weiterhin die tägliche Gasproduktion und die erzeugte elektrische Energie abgetragen.

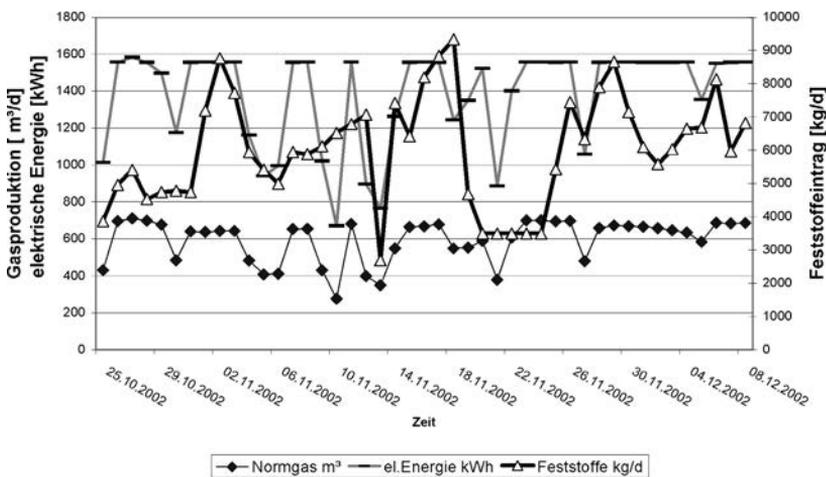


Abb. 1: Güllefermentation in Biogasanlagen mit Rübenbruchstücken als Koferment

Grundsätzlich ist in der landwirtschaftliche Praxis festzustellen, dass über einen längeren Zeitraum nur sehr schwer ein kontinuierlicher Massenstrom durchzuhalten ist, da auf Grund technischer bzw. organisatorischer Probleme die Massenzufuhr gerade der Kosubstrate Schwankungen unterliegt.

Über die Versuchsphase wurde ein durchschnittlicher Gasertrag von 597 m<sup>3</sup> ermittelt. Hierbei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich um Normgas handelt, was bedeutet, dass eine Rückrechnung auf Normbedingungen (Temperatur 0 °C, Druck 1013,25 hPa) erfolgte.

Dies ist möglich, da auf der Anlage die Außentemperatur, der Luftdruck sowie die Temperatur des Biogases kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet wird. Für die Rübenbruchstücke wurde ein Gasertrag von 90,92m<sup>3</sup>/t FM bei einem Methangehalt des Gesamtsubstrates Gülle und Rübenbruchstücke von 51,8 % festgestellt.

Abb. 2 zeigt den Gehalt an CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S im Biogas während des Untersuchungszeitraumes. Deutlich ist zu erkennen, dass sich der Methangehalt auf einem Niveau um 52 %

einpendelte und leichten Schwankungen unterliegt. Größere Mengen an H<sub>2</sub>S im Biogas sind bei der Verwendung von Rübenbruchstücken nicht zu messen.

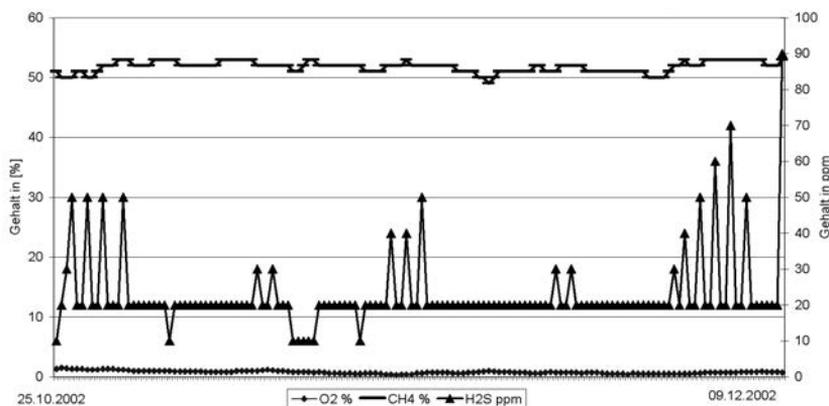


Abb. 2: Gasertrag bei Güllefermentation mit Rübenbruchstücken als Koferment

Der Eigenverbrauch der Anlage an Strom lag bei 154 KW pro Tag und macht somit 11,1 % der erzeugten täglichen Strommenge aus. Um die Fermentertemperatur auf rund 39 °C zu halten, wurden täglich durchschnittlich 379 KWh an Wärmeenergie benötigt, was einem spezifischen Wärmebedarf/m<sup>3</sup>Faulraum von 0,65 KWh/d entspricht (durchschnittliche Fermentertemperatur 39,5 °C, durchschnittliche Außentemperatur 7,78 °C).

Weitere Versuche wurden u. a. mit den Kofermenten Mais, Weißkohlschälabfällen, Grünroggensilage(als Zwischenfrucht) und Mais-Tretmistgemengen und Mais-Pressschnitzelgemengen unternommen.

Die spezifischen Gaserträge der genannten Stoffe sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt und werden dort prognostizierten Werten (in VLK-Beratungsempfehlungen 2002 nach: RUTZMOSER und SPANN, 2002; BASERGA, 1998) gegenüber gestellt. Wie Tab. 1 ausweist, liegen die gemessenen Werte nur unwesentlich über bzw. unter den berechneten Werten für die Gasmenge und -qualität.

Somit bleibt festzuhalten, das Prognosemodell, worauf sich die Officialberater der Landwirtschaftskammern und Landwirtschaftsämter in Deutschland geeinigt haben, ist, zumindest für die untersuchten Stoffe, mit hinreichender Genauigkeit für landwirtschaftliche Anlagen anzuwenden.

Tab. 1: Gaserträge und Gasqualitäten unterschiedlicher Kofermente

	Gemessen	Berechnet
<b>Rübenbruchstücke</b> TM 16,30 % o.TM 91,06 %		
Gasmenge	97,50	95,50 m <sup>3</sup>
Methangehalt	51,80 %	51,00 %
<b>Mais</b> TM 37,40 % o.TM 95,60 %		
Gasmenge	202,60 m <sup>3</sup>	222,70 m <sup>3</sup>
Methangehalt	53,97 %	52,10 %
<b>Weißkohlschälabfälle</b> TM 12,50 % o.TM 87,99 %		
Gasmenge	88,15 m <sup>3</sup>	83,70 m <sup>3</sup>
Methangehalt	54,17 %	55,20 %
<b>Grünroggensilage</b> TM 20,50 % o.TM 88,10 %		
Gasmenge	127,26 m <sup>3</sup>	109,20 m <sup>3</sup>
Methangehalt	53,20 %	52,50 %
<b>Mais/Pressschnitzel</b> TM 32,40 % o.TM 96,00 %		
Gasmenge	237,97 m <sup>3</sup>	191,10 m <sup>3</sup>
Methangehalt	51,40 %	51,70 %
<b>Mais/Tretmist</b> TM 31,40 % o.TM 92,59 %		
Gasmenge	175,45 m <sup>3</sup>	175,50 m <sup>3</sup>
Methangehalt	51,60 %	52,50 %

## 2 Vergleich mit Laboruntersuchungen

In Zusammenarbeit mit dem ATB-Bornim (Dr. Bernd Linke, Dipl. Biochem. Hannelore Schelle Agrartechnik Bornim, Bioverfahrenstechnik) wurden dort in Laborversuchen die Gaserträge u. a. von Rübenbruchstücken ermittelt.

Die Kofermente wurden in Batch-Versuchen bei 35 °C über den Zeitraum von 35 Tagen vergoren.

Um den Einfluss des beim Gärtest verwendeten Impfschlammes auf den Gasertrag einschätzen zu können, kamen Impfschlämme aus dem ATB und Anlagenablauf aus der Biogasanlage (BGA), die auch Rübenbruchstücke verarbeitete, zum Einsatz.

Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt.

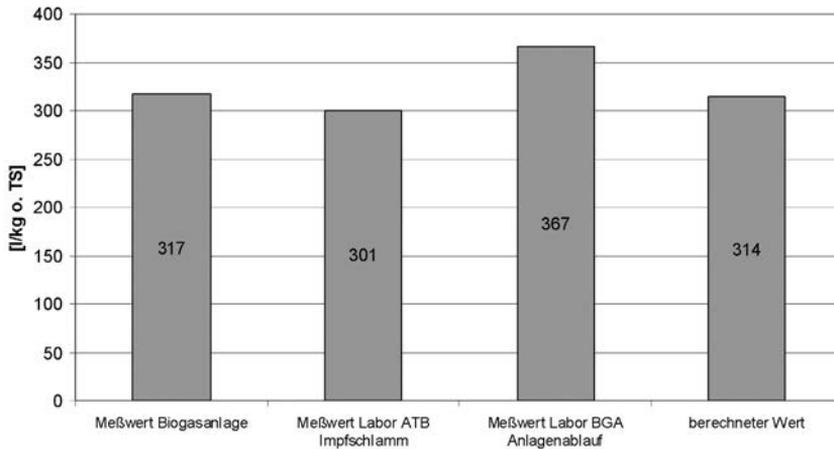


Abb. 3: Einfluss des beim Gärtest verwendeten Impfschlammes auf den Gasertrag

Die linke Säule stellt die Messwerte der Methanausbeute in l/kg o. TS dar, die in der landwirtschaftlichen Biogasanlage der Landwirtschaftskammer Rheinland Haus Riswick ermittelt wurden.

Die Methanausbeuten unterscheiden sich nur unwesentlich von den berechneten Werten (rechte Säule).

Interessant ist das Ergebnis der Laborversuche mit den beiden verwendeten Impfschlämmen. Der ATB-Impfschlamm setzt zwar das angebotene Substrat aus den Rübenbruchstücken wesentlich schneller um als der BGA Anlagenablauf. Nach 35 Tagen ist jedoch die Methanausbeute bei dem Impfschlamm aus der Anlage (BGA Anlagenablauf) um etwa 22 % höhere als mit dem ATB-Impfschlamm.

Eine mögliche Erklärung nach LINKE und SCHELLE hierfür ist, dass er ATB-Impfschlamm im Gegensatz zum Anlagenablauf noch nicht an dieses Substrat adaptiert war.



## Methanertragspotenzial verschiedener nachwachsender Rohstoffe in Laborfermentern und deren Übertragbarkeit auf die Praxis *Methane yield of various energy crops – tests at laboratory scale and transferability to full-scale application*

FELIPE KAISER, MARKUS SCHLATTMANN, ANDREAS GRONAUER

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik, Am Staudengarten 3, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** Biogas, Methanertrag, Grünland, Mais, nachwachsende Rohstoffe  
**Keywords:** Biogas, methane yield, grassland, maize, energy crops

### **Zusammenfassung**

Die Rentabilität einer Biogasanlage hängt unter anderem vom Methanertrag aus den eingesetzten Substraten ab. Laborversuche im Batchtest ermitteln die maximal erreichbaren Erträge. Auf die organische Trockenmasse (oTM) bezogene Methanerträge aus Grünlandaufwuchs schwankten zwischen 219–436 L Methan (kg oTM)<sup>-1</sup>. Erträge aus verschiedenen Maissorten (250–360 L Methan kg oTM<sup>-1</sup>) zeigen, dass für verschiedene Saat- und Erntetermine sortenspezifische Optima bestehen. Die Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Laborversuche (Batch-Betrieb) auf Praxisverhältnisse im Durchflussbetrieb ergaben, dass sich die oTM-spezifischen Methanerträge je nach Fermentertyp bei gleicher hydraulischer Verweilzeit (32 d) um 17 bis zu 27 % reduzieren. Die verfahrenstechnische Gestaltung (Verweilzeit des Substrates im geschlossenen System) einer Praxisanlage entscheidet somit welche Anteile der Methanbildungspotenziale energetisch verwertet werden können.

### **Summary**

In whether a biogas plant operates cost-effectively is among other things dependent on the methane yield of the input materials. Batch-tests in laboratory digesters are suitable to determine maximum methane production from different feedstocks. Specific methane yields of grass ranged between 219 and 436 L CH<sub>4</sub> \* (kg VS)<sup>-1</sup>. Optimal methane yields of various maize breeds varied with dates of sowing and harvest (250–360 L CH<sub>4</sub> \* (kg VS)<sup>-1</sup>). Specific methane yields of the investigated substrates in full-scale, continuously operated digesters were 17 to 27 per cent lower compared to the data from laboratory batch-tests. The design of a full-scale biogas plant, particularly with respect to the residence time of the substrate, thus determines which share of the theoretical methane yield of the input materials can be used.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Als Basissubstrat zur Biogaserzeugung wird in der Regel der bei der Tierhaltung auf den Betrieben anfallende Wirtschaftsdünger in Form von Flüssigmist (Gülle) oder Festmist eingesetzt. Aufgrund dessen relativ geringen Gasbildungspotenzials ist es jedoch sinnvoll, zusätzlich andere, energetisch hochwertigere Stoffe gemeinsam mit dem Basissubstrat Gülle zu vergären. In den letzten Jahren wurden zunehmend sogenannte „Nachwachsende Rohstoffe“ (NaWaRo) als Inputmaterial eingesetzt. Deshalb werden in einem laufenden Forschungsprojekt verschiedene Arten bzw. Sorten von NaWaRo geprüft, um die Grundlagen für ein EDV gestütztes Expertensystem für landwirtschaftliche Biogasanlagen zu schaffen. Diese Grundlagen umfassen Angaben über alle relevanten Pflanzeninhaltsstoffe und deren Abbaukinetik in einer Biogasanlage sowie dynamisch erfasste Daten zum Gasertrag und der Gaszusammensetzung. Die direkte Übertragbarkeit von Ergebnissen aus kontrollierbaren Labor-Batch-Versuchen unter optimalen Bedingungen auf quasikontinuierlich beschickte Anlagen im Praxismaßstab erscheint fraglich, da sich Prozesskinetik und Verfahrensführung deutlich unterscheiden. Es sollen somit im Rahmen eines weiteren Projektes verschiedene Fermentertypen parallel mit den gleichen Substraten betrieben werden. Die so gewonnenen Daten bezüglich Gasbildung, Gasqualität und chemischer Parameter sollen Rückschlüsse zulassen, inwiefern sich Reaktorgröße und Fütterungsregime auf die Gasbildung auswirken.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Versuchsfermenter zur Methanermittlung

Um die Prozesskinetik des anaeroben Abbaus und die potenziellen Gaserträge der Versuchsvarianten zu prüfen, wurden Batch-Versuche durchgeführt. Die Laborfermenteranlage besteht aus 5 Klimaschränken mit regelbarer Temperatur. Jeder Klimaschrank enthält 14 Glasreaktoren ( $V = 2 \text{ L}$ ), die jeweils an einen eigenen Gaszähler (Milligascounter®) angeschlossen sind. Die Gasproduktion wird über Milligascounter® automatisch kontinuierlich erfasst. Vom Gaszähler werden die Gasmengen der Wiederholungen ( $n = 5$ ) in einem Gassack zusammengeführt und zwischengespeichert, um von dort manuell der Gasanalyse zugeführt zu werden. Alle relevanten Daten werden in einer Access-Datenbank gespeichert. Zur Untersuchung der Übertragbarkeit wurden neben den oben beschriebenen 2 L-Fermentern sechs 36 L-Technikumsfermenter aus Glas (Durchflussbetrieb) und drei weitere 36 L-Fermenter aus Edelstahl (Batch-Betrieb) sowie ein 3500 L-Pilotfermenter mit dem gleichen Substrat beschickt. Die 36 L-Technikumsfermenter werden über eine Doppelwand mit zirkulierendem Wasser beheizt und sind mit einem langsamdrehenden Gabelrührwerk ausgestattet. In dem mit einer innenliegenden Heizschlange beheizten 3500 L-Pilotfermenter befindet sich ein entsprechend skaliertes Rührwerk mit gleicher Umfangsgeschwindigkeit. Die Daten werden auf stündlicher Basis in einer Access-Datenbank gespeichert und durch Normierung auf Standardbedingungen in vergleichbare Größen gebracht.

### 2.2 Substrate

Die beprobten Flächen der Grünlandvarianten befinden sich am Lehr- und Versuchsgut Spitalhof in Kempen (Allgäuer Alpenvorland), im Raum Passau (Bayerischer Wald) und im Raum Steinach (Vorwald des Bay. Waldes) (Tabelle 1).

Tab. 1: Grünlandvarianten

Kennzeichen	Standort	Schnitte pro Jahr	Düngungsart	N-Düngung (kg ha <sup>-1</sup> ) / (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )**
G1	Allgäuer	5	mineralisch	300
G2	Alpenvorland	5	mineralisch	200
G3		4	mineralisch	300
G4		4	mineralisch	200
G5		4	mineralisch	120
G6	Allgäuer	4	Gülle	4 x 20
G7	Alpenvorland	4	ohne	ohne
G8		3	Gülle	3 x 20
G9	Bayerischer	5	Gülle	3 x 20
G10	Wald	4	Gülle	3 x 20
G11		3	Gülle	2 x 25
G12	Vorwald des Bay. Waldes	3	ohne	ohne

\*) bei mineralischer Düngung; \*\*) bei Düngung mit Gülle

Die drei untersuchten Maissorten wurden an zwei verschiedenen Terminen (April und Mai) gesät und zu vier verschiedenen Terminen geerntet. Die Maissorten stammen aus den Versuchspartellen des IPZ in Freising und Umgebung.

### 2.3 Berechnungsgrundlagen

Die Methanerträge der Versuche wurden auf trockenes Norm-Gas (273,15 K und 1013,25 hPa) umgerechnet.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Methanerträge von Grünland

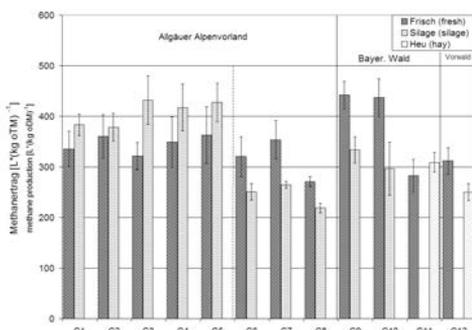


Abb. 1: Methanertrag der Grünlandvarianten bezogen auf die organische Trockenmasse

Die Grünlandvarianten ergaben Mittelwerte der Methanerträge aus Frischmaterial von 282 bis zu 438 L Methan kg oTM<sup>-1</sup>. Die Proben aus Silagen zeigten einen Schwankungsbereich von 219 bis 436 L Methan kg oTM<sup>-1</sup> und die Proben aus Heu einen Schwankungsbereich von 250 bis 310 L Methan kg oTM<sup>-1</sup> (Abbildung 1).

Da die Silierung auch eine Vorgärung des Substrates darstellt, sollte das Siliergut wegen den verfügbaren organischen Säuren einen höheren Methanertrag als die Frischprobe aufweisen. Dem stehen aber die Silierverluste entgegen, die auch zu einem niedrigeren Methanertrag führen können. Die Unterschiede der Methanerträge zwischen Frischproben und Silagen werden daher erst mit den Ergebnissen der Inhaltsstoffanalysen, die noch nicht zur Verfügung stehen, erklärbar sein.

### 3.2 Methanerträge verschiedener Maissorten

Die Mittelwerte der Erträge aus den Silagen der getesteten Maissorten zeigten einen Schwankungsbereich von 250 bis 360 L Methan kg oTM<sup>-1</sup>. Die Methanerträge sind von der Verdaulichkeit der Inhaltstoffe abhängig und die Verdaulichkeit korreliert mit dem TS-Gehalt der Ganzpflanze und des Kolbens. Wie in Abbildung 2 erkennbar ist, haben die verschiedenen Sorten, unabhängig vom Saattermin, für maximale Methanerträge im Kolben verschiedene optimale TS-Gehalte. Bei der Sorte Gavott zeigte sich ein optimaler TS-Gehalt im Kolben zwischen 54 und 61 %, bei der Sorte Hybride 89 zwischen 28 und 48 % und bei der Sorte KXA zwischen 45 und 56 % (Abbildung 2).

### 3.3 Biogas-Gärtests in verschiedenen Fermentertypen

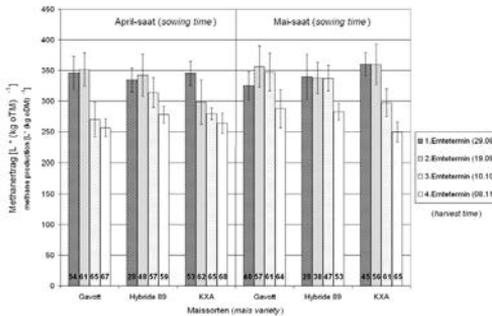


Abb. 2: Methanertrag der Maissorten bezogen auf die organische Trockenmasse (Ziffern in den Säulen bezeichnen den TS-Gehalt von Kolben)

Tab. 2: Chemische Parameter bei der Batch-Vergärung von „SB-Gärrest“ in 2L- und 36L-Fermentern (SCHLATTMANN et al., 2004B)

	Startsubstrat (SB-Gärrest) t = 0 d	36 L (n = 3, t = 40 d)		2 L (n = 5, t = 40 d)	
		Mittel	Stdabw	Mittel	Stdabw
TS [g kg <sup>-1</sup> ]	40,1	27,4	0,6	27,1	0,8
oTS [g kg <sup>-1</sup> ]	32,6	19,4	1,0	18,7	1,2
CSB [g O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> ]	54,6	30,7	0,3	31,1	0,6
Rohprotein [g kg <sup>-1</sup> ]	7,05	5,55	0,02	5,73	0,23
Rohfaser [g kg <sup>-1</sup> ]	6,10	2,25	0,09	2,23	0,23
Rohfett [g kg <sup>-1</sup> ]	0,91	0,69	0,01	0,67	0,08

Bei der Durchführung eines Parallelversuches im Batch-Verfahren mit 2L-Fermenter und 36L-Fermenter bei gleichbleibendem Substrat konnte bei einer 40-tägigen Batch- Vergärung von standardisiertem Basissubstrat („SB-Gärrest“) in den kleineren Fermentern ein höherer Methanertrag beobachtet werden als in den 36 L-Fermenter-Vergleichsvarianten. Eine Wie-

derholung des Versuchs mit Praxisfermenter-Gärrest („PF-Überlauf“) konnte diese erhöhte Ausbeute jedoch nicht bestätigen. (Abbildung 3). Eine ähnliche Abbauleistung, trotz geringfügig unterschiedlicher Methanbildung in den beiden verschiedenen Fermentergrößen, spiegeln die in Tabelle 2 angegebenen Substratanalysen bei der Vergärung von „SB-Gärrest“ wieder.

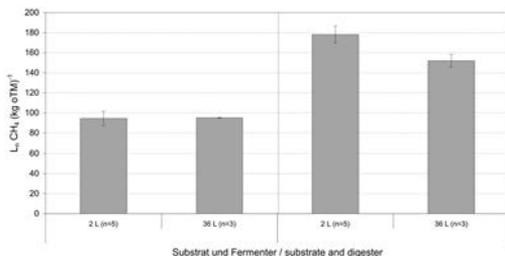


Abb. 3: Vergleich der Methanerträge nach 40-tägiger Batch-Vergärung in 2 L-Fermentern und 36 L-Fermentern

Wird Praxisfermentersubstrat (Vorgrubenmischung aus Gärrest, Fetten und Mais) in einem 36 L-Behälter im Batch-Verfahren getestet, ergibt sich eine typische Methanbildungskurve (Abbildung 4), die in einem potenziellen Gasertrag von 400 L Methan kg oTM<sup>-1</sup> resultiert. Auffallend ist der starke Abfall der Gasbildungsrate ab dem fünften Tag, da kein weiteres Substrat mehr hinzugefüttert wird. Da jedoch schwer abbaubare pflanzliche Gerüstsubstanzen im Substrat vorhanden sind (Maisanteile) ist noch bis über den 30ten Tag eine Gasbildung zu beobachten. Vergleichend dazu wurde der quasi-kontinuierliche Betrieb eines 36L-Fermenters untersucht (Abbildung 5).

Die täglichen Beschickungen führen zu deutlich erkennbaren Gasertragsschwankungen. Da nicht bekannt ist, aus welcher der vorangegangenen Fütterungen das aktuell produzierte Gas stammt, ist eine Zuordnung des produzierten Gases in diesem Fall schwieriger als im Batch-Betrieb. Eine Aussage über die durchschnittliche Gasproduktion ist erst nach ca. 30 Tagen steady-state-Betrieb sinnvoll, die sich in diesem Fall bei etwa 330 L Methan kg oTM<sup>-1</sup> einpendelt und deutlich niedriger ausfällt als im Batch-Betrieb. Bei der Vergärung des gleichen Substrates in den 3500 L-Fermenter bei täglicher Beschickung ergibt sich ein durchschnittlicher Gasertrag, der sich bei 290 L Methan kg oTM<sup>-1</sup> stabilisiert (Abbildung 6).

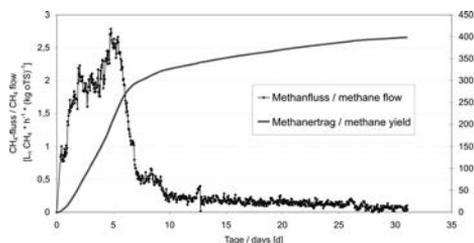


Abb. 4: Spezifischer Gasfluss und Gasertrag bei der Vergärung von Praxisfermentersubstrat (36 L-Fermenter, Batch-Verfahren), (SCHLATTMANN et al., 2004A)

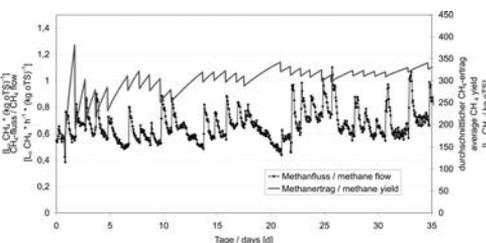


Abb. 5: Gasfluss und durchschnittlicher spezifischer Gasertrag bei der Vergärung von Praxisfermentersubstrat (36 L-Fermenter, tägliche Fütterung), (SCHLATTMANN et al., 2000A)

Aus den bisherigen Ergebnissen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Bewirtschaftungsintensität und Standortfaktoren hatten einen deutlichen Einfluss auf das Methanertragspotenzial des Aufwuchses von Dauergrünland, das für die untersuchten Standorte zwischen 219 und 438 L Methan kg oTM<sup>-1</sup> lag.

- Für einen möglichst hohen Methanertrag aus Mais ist die Erzielung des optimalen Trockenmasseertrags der jeweiligen Sorte entscheidend, der wiederum vom Erntetermin abhängt.
- Zwischen Batch-Vergärung in 2L-Fermentern und 36L-Fermentern bestehen keine signifikanten Unterschiede. Die auftretenden Mehrerträge könnten bei Betrachtung des Wiederholungsversuches im Rahmen üblicher Schwankungsbreiten bei der Betrachtung von biologischen Prozessen liegen.
- Deutliche Unterschiede zeichnen sich jedoch zwischen Durchfluss- und Batchbetrieb ab. Im Durchflussbetrieb treten Mindererträge aufgrund von hemmenden mikrobiologischen Einflüssen sowie der Entnahme von nicht vollständig ausgefaultem Material auf.
- Weitere Mindererträge können sich bei der Vergärung in Großfermentern aufgrund verfahrenstechnischer und betriebstechnischer Bedingungen ergeben, die unter gut kontrollierbaren Laborbedingungen nicht auftreten.

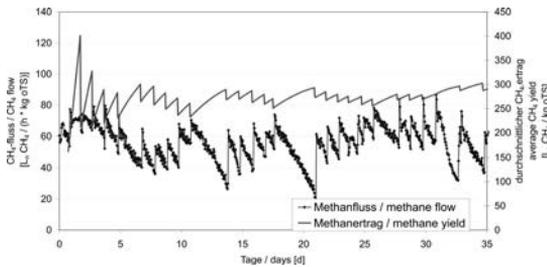


Abb. 6: Gasfluss und durchschnittlicher spezifischer Gasertrag bei der Vergärung von Praxisfermentersubstrat (3500 L-Fermenter, tägliche Fütterung), (SCHLATTMANN et al., 2004A)

## 4 Weiteres Vorgehen

Im weiteren Projektverlauf werden mit den Ergebnissen der Inhaltsstoffanalysen (Futtermittelanalysen) Korrelationen zwischen den ermittelten Methanerträgen und den entsprechenden Inhaltsstoffen der Substrate gebildet, um ein EDV-Expertensystem zu programmieren, das Mischrationen für Biogasanlagen optimieren kann.

Im Rahmen weiterer Substrattests mit charakteristischen Inputmaterialien (Maissilage und Grassilage) sollen die bisherigen Ergebnisse bezüglich des Einflusses von Fermentertyp als auch des Vergärungsverfahrens (Batch oder Durchfluss) weiter validiert werden, um auf Basis mehrerer Wiederholungen gesicherte Aussagen treffen zu können.

## 5 Literatur

KAISER, F.; DIEPOLDER, M.; EDER, J.; HARTMANN, S.; PRESTEL, H.; GERLACH, R.; ZIEHFREUND, G.; GRONAUER, A. (2004): Biogaserträge verschiedener nachwachsender Rohstoffe. *Landtechnik* 59, H.4, S. 224–225.

SCHLATTMANN, M.; SPECKMAIER, M.; GRONAUER, A.. (2004 A): Biogas-Gärtests in verschiedenen Fermentertypen. *Landtechnik* 59, H.6, S. 338–339.

SCHLATTMANN, M.; SPECKMAIER, M.; LEBUHN, M.; GRONAUER, A.. (2004 B): Comparison of anaerobic digestion in laboratory, pilot and full scale fermenters loaded with agricultural substrates. *10<sup>th</sup> World Congress of Anaerobic Digestion, Proceedings*, H.3, S. 1828–1832.

ZAUNER, E.; KÜNTZEL, U. (1986): Methane production from ensiled plant material. *Biomass*, H.10, S. 207–223.

## Feststofffermentation landwirtschaftlicher Substrate im Batch-Betrieb *Solid-phase digestion of agricultural substrates in batch processes*

SIGRID KUSCH, HANS OECHSNER

Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart

**Schlüsselwörter:** Feststofffermentation, Trockenfermentation, Biogas, Perkolationsprozess, Grünschnitt, Rinderfestmist

**Keywords:** *Solid-phase digestion, biogas, percolation process, green cut, dairy manure*

### **Zusammenfassung**

Unterschiedliche landwirtschaftliche Substrate wie Grünschnitt, Rinderfestmist und Pferdemist haben sich als grundsätzlich geeignet zur Vergärung in Feststofffermentern erwiesen. Bisher konnten die in Laborversuchen ermittelten Methanerträge an der im Rahmen des Projektes untersuchten Praxisanlage nicht erreicht werden, wobei bei der Anlage weitere Ansätze zur Optimierung erkannt wurden.

Zur Beurteilung einzelner Substrate ist neben dem biochemisch nutzbaren Energiegehalt die Struktur des Materials ein entscheidendes Kriterium. Anders als bei der Flüssigvergärung benötigt die Feststoffvergärung im Perkolationsbetrieb für eine hohe Biogasausbeute einen ausreichenden Strukturanteil. Substrate, die zur Verklumpung neigen sind als Monosubstrate ungeeignet. Hier ist die Zugabe von strukturgebenden Materialien zwingend erforderlich, wobei sich bisher Grünschnitt und Stroh als geeignet erwiesen haben. Das Methanpotenzial kann im Perkolationsverfahren ähnlich gut ausgeschöpft werden wie bei gefluteten Verfahren. Ergebnisse sind grundsätzlich substratspezifisch zu betrachten. So muss für jedes Substrat und jede Materialmischung der erforderliche Anteil an Altmaterial gesondert ermittelt werden.

### **Summary**

Different agricultural substrates (green cut, dairy and horse manure) have proven to be digestible in solid-phase fermentation systems. Methane yields determined in laboratory experiments could not yet be achieved in the large scale plant.

Methanogenic biodegradation in percolated solid-phase digesters not only depends on the energy content and the theoretical microbiological degradability of the substrate but also on the structure of the material. Addition of appropriate material is necessary if the substrate itself is poor in structure. In percolated and in flooded laboratory test reactors similar methane yields were achieved.

## 1 Einleitung

In der Landwirtschaft ist bisher die Flüssigvergärung mit Gülle als Basissubstrat gängige Praxis. Hierbei ist die Zugabe von Feststoffen begrenzt, bei hohen Gehalten an Trockensubstanz (TS) treten vor allem bei der Ein- und Austragetechnik sowie den Rührreinrichtungen Probleme auf. Spezielle Feststoffvergärungsanlagen sind in der Landwirtschaft bisher selten. Erfahrungen aus der Verwertung von kommunalem Bioabfall sind wenig übertragbar, da Bioabfallvergärungsanlagen bis auf wenige Ausnahmen Durchflussanlagen mit aufwändigen Einrichtungen zum quasi kontinuierlichen Ein- und Austragen sowie zum Durchmischen des Gärgutes sind. Hohe Investitionskosten sowie eine ständige Prozesskontrolle sind für einen sicheren Betrieb erforderlich. Für das dezentrale Anforderungsprofil der Landwirtschaft erscheint die diskontinuierliche Prozessgestaltung (Batch-Betrieb) vorteilhafter, da die Anlagen preiswerter sind und sich die flexiblere Betriebsführung besser in den landwirtschaftlichen Betriebsalltag einpasst. Die Anlagentechnik ist robust, aufwändige Misch-, Beschickungs- und Austrageeinrichtungen sind nicht erforderlich. Zum Befüllen und Entleeren der Fermenter kann häufig auf dem Hof vorhandene Technik (Front-, Radlader) genutzt werden.

Die Vergärung bei hohen TS-Gehalten in speziellen Feststofffermentern wird häufig als Trockenfermentation bezeichnet. Dieser Begriff ist irreführend, da für eine ungehemmte Aktivität der bei der Biogasproduktion beteiligten Mikroorganismen stets ein gewisser Wassergehalt, in der Regel mind. 60 Gew.-%, erforderlich ist. Nachfolgend werden hier daher die Begriffe Feststofffermenter und Feststoffvergärung verwendet.

## 2 Zielsetzung

Das Forschungsprojekt im Auftrag des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg soll dazu beitragen, das Potenzial der diskontinuierlichen Feststofffermentation speziell für den landwirtschaftlichen Bereich besser einschätzen zu können. Hierzu werden im Labormaßstab Versuche mit unterschiedlichen Substraten durchgeführt und eine landwirtschaftliche Praxisanlage wissenschaftlich begleitet. Die Kombination von Labor- und Praxisuntersuchungen soll zum einen grundsätzliche Fragestellungen bei der Vergärung einzelner Substrate klären und zum anderen durch die Identifikation von Optimierungspotenzialen geeignete verfahrenstechnische Grund- und Randbedingungen ermitteln, um in der Praxis eine hohe Biogasausbeute und einen zuverlässigen Anlagenbetrieb zu gewährleisten.

## 3 Methode

Für **Untersuchungen im Labormaßstab** wurde ein Feststoffvergärungslabor mit 10 Testzellen aufgebaut. Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Reaktors. Der Nutzinhalt der Edelstahlfermenter beträgt etwa 50 Liter. Die Temperierung des Versuchsgutes erfolgt mittels Warmwasser, das die Doppelwand der Behälter durchströmt. Außenwände, Behälterböden und relevante Schläuche sind wärmeisoliert. Im Behälter liegt der Feststoff auf einem Lochblechboden auf.

Durchsickerndes Prozesswasser wird im Pumpensumpf aufgefangen und mittels einer Pumpe in definierten Zeitabschnitten über einen vierarmigen Verteiler am Reaktordeckel

verrieselt. Das Biogas wird in aluminiumbeschichteten Gasbeuteln aus PTFE/PE aufgefangen und qualitativ und quantitativ analysiert. Gasmengen werden auf Normbedingungen (0 °C, 1,013 bar) bezogen und in Normlitern (L<sub>N</sub>) angegeben. Zur Beurteilung der im Inneren der Fermenter herrschenden Bedingungen wird das rezirkulierte Prozesswasser beprobt. Vor jeder Probennahme wird das Prozesswasser für die Dauer von 15 min rezirkuliert, um einen Konzentrationsausgleich zwischen freiem Sickerwasser und Haftwasser zu erreichen. Ein Belüftungsanschluss ermöglicht es, auch aerobe Phasen zu untersuchen.

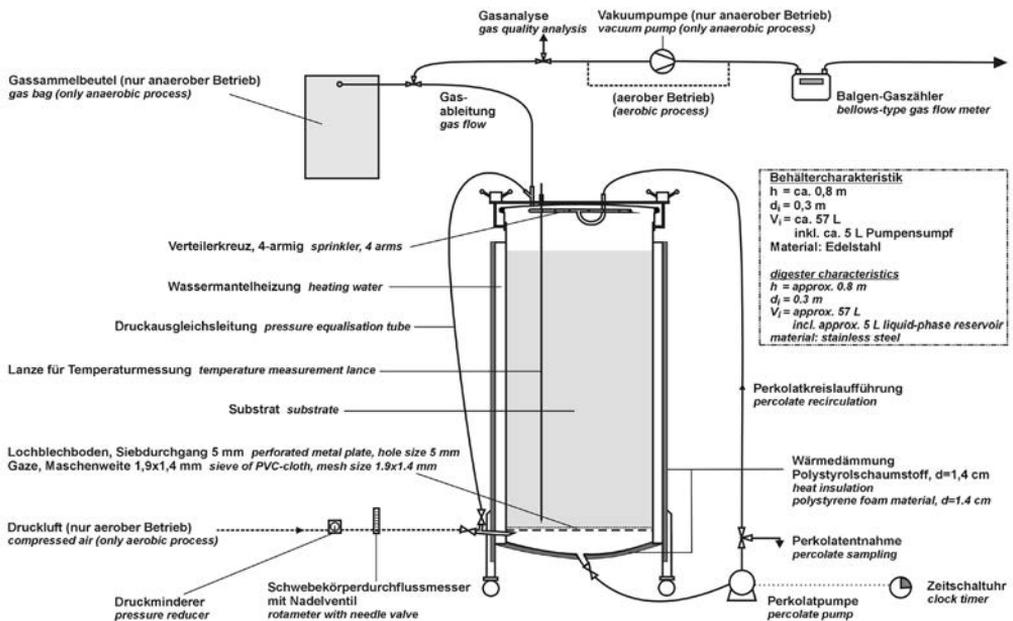


Abb. 1: Laborreaktor zur Feststofffermentation  
Laboratory-scale solid-phase digester

Die untersuchte **Praxisanlage** befindet sich auf einem landwirtschaftlichen Betrieb und wurde hauptsächlich zur Vergärung von Grünschnitt aus kommunaler Sammlung errichtet. Der Grünschnitt hat einen hohen Anteil an Strauch- und Heckschnitt und ist für die Vergärung in der Flüssigfermentation ungeeignet. Die Feststoffvergärungsanlage besteht aus vier berieselten Boxenfermentern mit einem Gesamtvolumen von jeweils 130 m<sup>3</sup>, von denen etwa 100 m<sup>3</sup> tatsächlich nutzbar sind. Der Wärmeeintrag in die Gärkammern wird durch eine Fußbodenheizung bewerkstelligt. Das Prozesswasser aller vier Fermenter wird in einem beheizten Perkolattank aufgefangen und erneut zur Berieselung der Feststoffschüttung eingesetzt. Ein- und Austrag der Feststoffe erfolgen mittels eines Radladers. Vor der Vergärung wird das Substrat mit bereits ausgefaultem Material gemischt, indem auf der Kompostplatte eine entsprechende Miete aufgesetzt und mit einem Kompostwender durchmischt wird. Aufbau und Betriebsweise der Anlage sind beschrieben in KUSCH & OECHSNER (2004).

## 4 Ergebnisse

Nachfolgend werden Ergebnisse aus Laboruntersuchungen mit verschiedenen Substraten dargestellt.

### 4.1 Vergärung von Grünschnitt aus kommunaler Sammlung

Der in diesem Versuch eingesetzte gehäckselte Grünschnitt stammte von der Praxisanlage aus einem Sammelzeitraum von Ende Mai bis Anfang Juli. Der TS-Gehalt betrug 46,3 Gew.-% und der oTS-Gehalt 28,6 Gew.-% absolut (bezogen auf die Frischmasse), bzw. 61,7 Gew.-% relativ (bezogen auf TS). Das im Versuch verwendete Altmaterial (TS: 35,3 Gew.-%, oTS absolut: 14,3 Gew.-%, oTS relativ: 40,5 Gew.-%) entstammte einem vorhergehenden Laborversuch und bestand aus vergorenem Grünschnitt, z.T. auch aus vergorener Grünschnitt/Rinderfestmist-Mischung. Als Prozesswasser wurde die 1:1 mit Leitungswasser verdünnte Flüssigphase aus dem vorangegangenen Laborversuch verwendet. Das Prozesswasser hatte einen pH-Wert von 8,28, einen  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt von 473 mg/L sowie einen absoluten oTS-Gehalt von 0,41 Gew.-%, leichtflüchtige Fettsäuren waren nicht nachweisbar.

In zwei Testzellen wurde frischer Grünschnitt perkoliert. In zwei weiteren Zellen war Grünschnitt so weit mit Prozesswasser aufgefüllt, dass eine vollständige Flutung auftrat. Eine Mischung aus Grünschnitt und Altmaterial im Verhältnis 75:25 Vol.-% wurde in zwei Fermentern perkoliert. In zwei Parallelen wurde reines Altmaterial vergoren. Bei einer gefluteten Zelle wurde die Flüssigphase nicht rezirkuliert, bei den übrigen Testzellen wurde zweimal täglich für jeweils 15 min umgepumpt. Die Gärtemperatur der Fermenter wurde bei 35 °C gehalten. Die Normmethanerträge der Versuchsfermenter sowie die Entwicklung der pH-Werte sind in Abbildung 2 dargestellt.

Reiner Grünschnitt übersäuerte im Perkoliationsverfahren während den ersten zwei Wochen und zeigte eine entsprechend gehemmte Methanproduktion. Eine Flutung der Testzellen wirkte sich positiv aus, wobei ohne Prozesswasserrezirkulation die Gasproduktion zu Beginn leicht gehemmt war. Nach 6 Wochen erreichten jedoch beide Testzellen mit 90,6 bzw. 90,4  $\text{L}_\text{N} \text{CH}_4/\text{kg oTS}$  einen sehr ähnlichen Normmethanertrag. Unter Berücksichtigung eines geringen Gasanteils, der der mit dem Prozesswasser eingebrachten Organik entstammt, erbrachte der Grünschnitt im Einstauverfahren einen mittleren Methanertrag von 90,2  $\text{L}_\text{N} \text{CH}_4/\text{kg oTS}$ .

In der Mischung mit Altmaterial stellte sich eine schnelle Gasproduktion ein. Der Methanertrag der Mischung lag nach 6 Wochen bei 72,5 bzw. 73,3  $\text{L}_\text{N} \text{CH}_4/\text{kg oTS}$ . Der Gasertrag der Mischung ( $G_{\text{ges}}$ ) setzt sich aus den sich überlagernden Gaserträgen der drei Einzelkomponenten Grünschnitt ( $G_{\text{Gruen}}$ ), Altmaterial ( $G_{\text{Alt}}$ ) und Prozesswasser ( $G_{\text{PW}}$ ) zusammen:  $G_{\text{ges}} = G_{\text{Gruen}} + G_{\text{Alt}} + G_{\text{PW}}$  [ $\text{L}_\text{N} \text{CH}_4$ ]. Unter der Annahme, dass sich die oTS-bezogenen Methanerträge des Altmaterials ( $g_{\text{Alt}}$ ) und des Prozesswassers ( $g_{\text{PW}}$ ) in der Mischung nicht ändern, lässt sich unter Berücksichtigung der zugehörigen Massen an oTS im Versuchsansatz ( $m_{\text{oTS}}$  [kg oTS]) derjenige oTS-bezogene Methanertrag bestimmen, den die Komponente Grünschnitt in der Mischung liefert:

$$g_{\text{Gruen}} = (g_{\text{ges}} \cdot m_{\text{oTS,ges}} - g_{\text{Alt}} \cdot m_{\text{oTS,Alt}} - g_{\text{PW}} \cdot m_{\text{oTS,PW}}) / m_{\text{oTS,Gruen}} \quad [\text{L}_\text{N} \text{CH}_4/\text{kg oTS}]$$

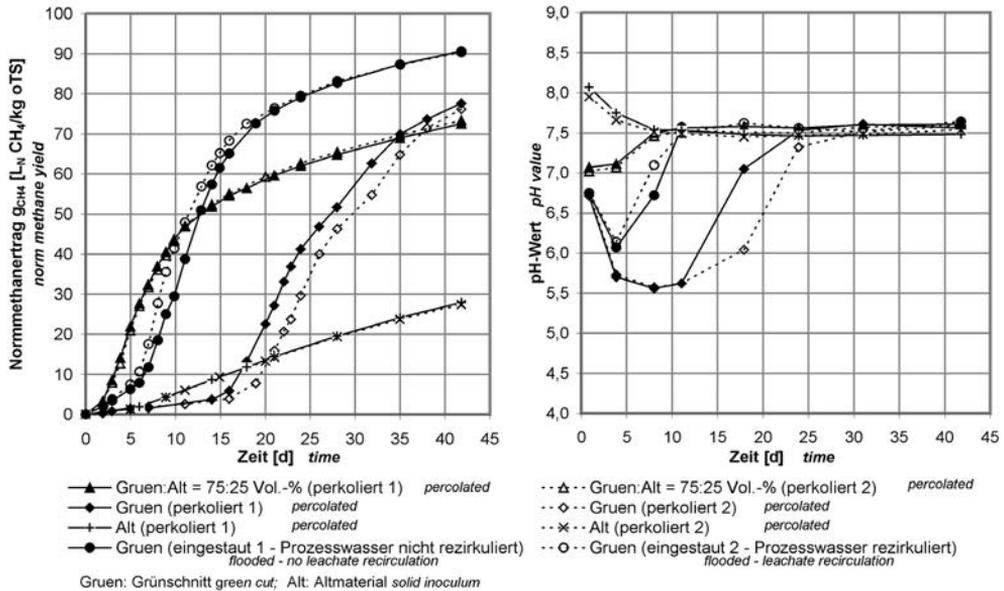


Abb. 2: Normmethanerträge und pH-Werte bei Vergärung von Grünschnitt in verschiedenen Varianten  
*Norm methane yields and pH values during digestion of green cut in different experimental set-ups*

Der Methanertrag des reinen Altmaterials lag bei 27,1 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/kg oTS. Damit ergibt sich rechnerisch für die Komponente Grünschnitt in der Mischung mit Altmaterial ein mittlerer Methanertrag von 88,3 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/kg oTS (87,8 bzw. 88,9 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/kg oTS in den Einzelzellen) und damit ein dem gefluteten Verfahren gut entsprechendes Ergebnis.

Somit lässt sich das Methanpotenzial des Grünschnitts im Perkolationsverfahren ähnlich gut ausschöpfen wie im gefluteten Verfahren. Dies bedeutet, dass die Vergärung optimiert ist, wenn die Wasserhaltekapazität des Grünschnitts gerade überschritten ist, also freies Sickerwasser auftritt. Ein höherer Flüssigkeitsüberschuss erzielt bei diesem Material keine höheren Gasausbeuten, kann aber einer Versäuerung entgegenwirken und die Notwendigkeit der Zugabe von Altmaterial verringern bzw. erübrigen. Bei Untersuchungen mit Pferdemit mit hohem Strohanteil in gefluteten sowie perkolierten Laborfermentern wurden gleiche Zusammenhänge ermittelt.

Das für den Grünschnitt ermittelte Potenzial von 90 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/kg oTS entspricht 55,5 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/kg TS bzw. 25,7 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/kg Frischmaterial. Bei einem Schüttgewicht von 0,6 t/m<sup>3</sup> hat also Grünschnitt ein Potenzial von etwa 15,4 m<sup>3</sup><sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> Frischmaterial.

Zum Vergleich: Pferdemit mit hohem Strohanteil, für den in der Feststoffvergärung bei eigenen Untersuchungen ein Methanpotenzial um 170 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/kg oTS ermittelt wurde, enthält aufgrund der geringen Schüttdichte ein volumenbezogenes Potenzial um 11,5 m<sup>3</sup><sub>N</sub> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> Frischmaterial.

## 4.2 Rinderfestmist ohne und mit Strukturmaterial

Rinderfestmist (TS 20,5 Gew.-%, oTS/Frischmat. 16,7 Gew.-%, oTS/TS 81,5 Gew.-%) wurde im Laborversuch als Monosubstrat und in Kombination mit Grünschnitt von der Praxisanlage vergoren. Alle Testzellen wurden perkoliert. In Monovergärung erzielte der Rinderfestmist in 6 Wochen einen Methanertrag von  $111 \text{ L}_N \text{ CH}_4/\text{kg oTS}$ , wobei die Methanproduktionsrate zu diesem Zeitpunkt mit  $1,7 \text{ L}_N \text{ CH}_4/(\text{kg oTS} \cdot \text{d})$  noch vergleichsweise hoch war. Biochemische Hemmfaktoren wurden nicht identifiziert, der pH-Wert lag um 7,6,  $\text{NH}_4\text{-N}$  überstieg Werte um 1000 mg/L nicht, Fettsäuren wurden rasch abgebaut und die Salzgehalte lagen im normalen Bereich ( $\text{LF} < 22,5 \text{ mS/cm}$ ). In der Mischung Rindermist mit Grünschnitt unvergoren sowie Grünschnitt vergoren im Verhältnis 50:25:25 Vol.-% betrug der aus der Komponente Rindermist stammende Ertrag  $164 \text{ L}_N \text{ CH}_4/\text{kg oTS}$ . In Mischung mit Grünschnitt unvergoren (50:50 Vol.-%) lieferte der Rindermist einen ähnlich hohen Beitrag von  $169 \text{ L}_N \text{ CH}_4/\text{kg oTS}$ .

Die Zugabe von strukturreichem Material steigerte also die Gasausbeute von Rinderfestmist um ca.  $55 \text{ L}_N \text{ CH}_4/\text{kg oTS}$  bzw. um ca. 50 % in 6 Wochen, wobei es unerheblich war, ob es sich dabei um frisches oder bereits vergorenes Material handelte. Festes Impfmateriale ist also bei der Vergärung von Rinderfestmist nicht erforderlich, die Zugabe von strukturreichem Material trägt hingegen zu einer deutlichen Methanertragssteigerung bei. Die positiven Auswirkungen von Strukturmaterial wurden auch bei der Vergärung von Pferdemist festgestellt. Während Pferdemist mit hohem Strohanteil eine sehr gute Vergärbarkeit im Perkulationsbetrieb zeigte, war ein hoher Kotanteil problematisch. Hierbei stellte sich keine gleichmäßige Durchfeuchtung des Materials ein, beim Ausbau waren nicht feuchtegesättigte Bereiche offensichtlich.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

In Laborversuchen haben sich Substrate wie Grünschnitt, Rinderfestmist und Pferdemist als grundsätzlich geeignet für eine Vergärung in schüttfähiger Form erwiesen. Die bisherigen Untersuchungen belegen, dass bei dieser Technologie auf eine optimale Vorbereitung des Gärgutes im Hinblick auf Impfmenge und Strukturanteil besonders geachtet werden muss. Im Labor ermittelte Methanausbeuten konnten bisher bei dem im Rahmen des Projektes untersuchten Praxisbetrieb nicht erreicht werden. Die Methanausbeuten in der Praxis liegen zurzeit bei etwa 2/3 der Laborausbeuten, wobei Optimierungspotenziale in der Praxis identifiziert wurden.

Aufgrund der hohen Energiedichte im Fermenter sowie dem dominanten Einfluss der Materialeigenschaften müssen Versuchsergebnisse sehr substratspezifisch bewertet werden. Bei den hier dargestellten Versuchen wurden Substrate mit relativ geringer Dichte an abbaubaren Inhaltsstoffen untersucht. In nachfolgenden Versuchsdurchläufen stehen nachwachsende Rohstoffe im Mittelpunkt.

## 6 Literatur

KUSCH, S.; OECHSNER, H. (2004): Vergärung landwirtschaftlicher Substrate in Feststofffermentern, in: Gülzower Fachgespräche, Band 23, 105–113.

## Der Vario-Line Modulstall – ein leistungsfähiges Komplettstallsystem für die Schweinemast und Schweinezucht

### *The Vario-Line modular stable – an effective turnkey-system for fattening and breeding pigs*

HANS-JÜRGEN JESS

Aco Durofarm GmbH, Postfach 320, D-24755 Rendsburg

**Schlüsselwörter:** Bauwesen, Gebäudesysteme, Baukonstruktionen, Stallbau, Komplettstall, Modulbauweise, Schweinemast, Schweinezucht, Erdwärmetauscher

**Keywords:** *Building constructions, turnkey stable, modular buildings, fattening, breeding, earth heat exchanger*

### **Zusammenfassung**

Bei dem Vario-Line Modulstall stellt eine hochgradige Typisierung der vorgefertigten Modulgülewannen, der Stallwände und der Dachkonstruktionen ein hohes Maß an Bauvorbereitung und Montage in den Werkhallen des Herstellers sicher. Das vermeidet Fehler in einzelnen Gewerken und an den Gewerk-Schnittstellen. Die Planung und die Kalkulation wird dadurch vereinfacht. Vergleichsstatiken reduzieren den Aufwand im Genehmigungsverfahren. Die industrielle Fertigung führt zu Degressionseffekten. Betriebserforderliche Kundenanpassungen hinsichtlich Produktionsrichtung und -kapazität sind durch die Variation der Moduleinrichtung und die Veränderung der Modulzahl pro Stall möglich. Durch kurze bauseitige Montagezeiten der Bauelemente wird witterungsunabhängiger gebaut. Der modulare Charakter des Stalles ermöglicht die Demontage des Stalles und den Neuaufbau an anderer Stelle. Das erleichtert Finanzierungsplanungen. Durch die Nutzung der Fundamentzwischenräume unter den Modulgülewannen ist die Integration eines Erdwärmetauschers sehr kostengünstig möglich.

### **Summary**

A high degree of standardization of the prefabricated slurry cellars, the wall elements and the roof construction ensures a high level of preparation and mounting in the production halls of the supplier. This avoids mistakes within and trouble between different stable parts. Also the planning and the calculation is more simple then. Compareable statical calculations reduce the efforts for the permission formalities. The industrial production leads to effects of degression. Farm individual customer wishes concerning type and capacity of production can be realized by variation of the equipment and the numbers of modules per section. For reason of short mounting time there is a lower dependence on the weather. The modular character of this stable makes demounting and remounting at another place possible. This makes financing discussions easier. By using the area between the foundations under the modules the integration of an earth heat exchanger is very cost extensive.

## 1 Einleitung

Um die unterschiedlichsten Anforderungen, die an Gebäude für die Schweinehaltung gestellt werden, erfüllen zu können, muss es in Hinsicht auf Gebäudebreite, Kanaltiefe, Raumhöhe, Dachneigung und -eindeckung, Außenfassade, Lüftungssystem und Einrichtung sehr variabel sein. Bei dem neuen Vario-Line Modulstallsystem sind diese Anforderungen bei gleichzeitig höchstmöglicher Typisierung erfüllt. Die Kernidee basiert auf seinem modularen Aufbau. Eine hochgradige Standardisierung von vorgefertigten Güllewannen unterschiedlicher Länge und Tiefe sowie unterschiedlichen großformatigen massiven Wandelementen stellt ein hohes Maß an Bauvorbereitung und Montage in den Werkhallen des Herstellers sicher.

Die Besonderheit der patentierten Modulbauweise ermöglicht beinahe kostenneutral die Integration des Erdwärmetauschers Opti-Klima unter dem Stall. Die anerkannt positive Wirkung von Erdwärmetauschern ist bislang häufig an den bauartbedingt hohen Investitionskosten gescheitert.

## 2 Die Kernelemente – industrielle Serienfertigung und doch variabel

### 2.1 Die Module

Um den unterschiedlichen Anforderungen der Haltungs- und Fütterungstechnologien gleichsam gerecht zu werden, wurden für die Schweineproduktion 6 unterschiedlich lange Güllekanalwannen in zwei unterschiedlichen Tiefen als „Grundbausteine“ entwickelt. Diese Grundbausteine – die Module – sind die kleinsten Einheiten eines Vario-Line Modulstalles mit Längen von 9 m bis 14 m bei einer Breite von jeweils 3 m und einer lichten Tiefe von 50 cm oder 75 cm (siehe Abbildung 1). Die Güllewannen werden monolithisch aus B45-WU-Beton gegossen.

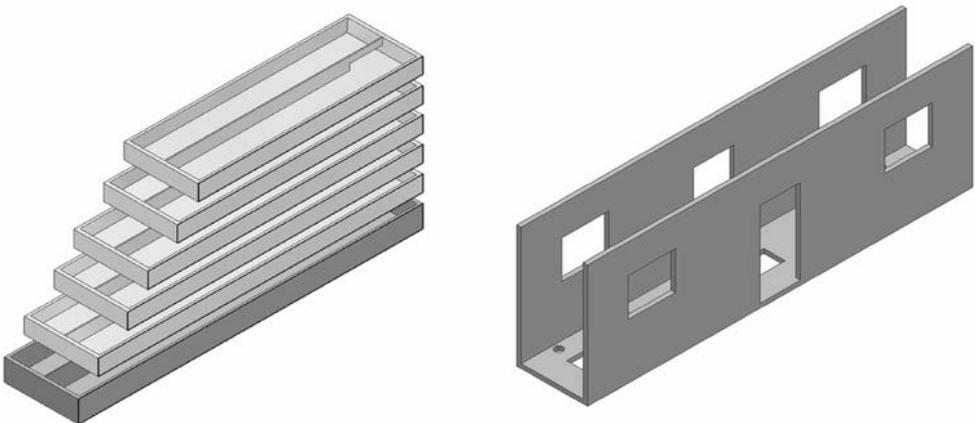


Abb. 1: Die Varianten der Module von 9 bis 14 m und das U-Element im Zentralgang  
*The different types of modules from 9 m to 14 m and the central walkway U-element*

## 2.2 Die Wände

Die Wände des Vario-Line Stalles (2,6 m oder 2,9 m hoch) werden auch im Betonfertigteilwerk aus B-45-WU-Beton hergestellt. Die Wandlänge richtet sich nach der Größe der Abteile, sie beträgt in Stalllängsrichtung immer ein Vielfaches von 3 m. Die traufenseitigen Außenwände werden als Sandwichwände ausgeführt, die durch die integrierte Wärmedämmung ein k-Wert von  $0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  erreichen. Sie können außenseitig mit Holzstruktur, Putzstruktur, Waschbetonoberfläche, Klinkerstruktur oder mit Stahlsandwichelementen in Wunschfarbe angeboten werden.

Eine Besonderheit des Vario-Line Stalles stellt das biegesteife U-Element im Zentralgang dar. Es wird als ein Teil an die Baustelle geliefert und beinhaltet die beiden Innenwände zwischen Zentralgang und Abteil sowie die Zentralgangbodenplatte (Abbildung 1).

Die traufenseitigen Wände werden mit Wandschuhen ausgestattet, die auf der Baustelle eine schnelle und sichere Montage ohne Sprieße ermöglichen. Der Einsatz von traufenseitigen Betonstützen-Vorlagen ermöglicht große Räume, die nicht durch aussteifende Querwände unterbrochen werden müssen.

In den Außenwänden sind schon im Betonfertigteilwerk Drehkipp-Thermzargenfenster integriert, deren Lichteintrittsfläche immer 3 % der zukünftigen Abteifläche beträgt.

## 3 Die Bauweise

In den für den Opti-Klima Stall erforderlichen Streifenfundamenten werden während des Betonierens Luftdurchtrittsöffnungen eingebaut. Die Fundamente ragen 10 bis 15 cm aus dem Baugrund heraus, so dass die Zuluft unter den Güllewannen je nach Ausrichtung des Stalles von der Traufenseite oder auch von der Giebelseite durch die Luftdurchtrittsöffnungen in den Bereich unter dem Zentralgang strömen kann.

Die Güllewanne wird mit dem Autokran auf die Streifenfundamente gestellt. Die Streifenfundamente und die Unterseite der Modulgüllewanne bilden den Erdwärmetauscherkanal. Der Kran stellt noch am gleichen Tag auch die Wandelemente und die Mittलगang-U-Elemente. Durch die Wandschuhverbindung sind alle Wände schnell und sofort belastbar miteinander verbunden.

Im Zwischenraum der Mittelfundamente wird die sichtbare und jederzeit zugängliche Gülleverrohrung untergebracht. In dem Opti-Klima Stall strömt hier auch die Zuluft von beiden Stallseiten zusammen.

Die Dachbinder werden mit einem mobilen Kran auf die Wandelemente gestellt. Der gleiche Kran hebt die auf Maß angelieferten Dachelemente auf das Dach. Beim Warmdach kann der gesamte Dachraum als Zuluftkanal genutzt werden.

Je nach Aufstallungs- und Fütterungslösung werden durch die Aneinanderreihung mehrerer Module unterschiedliche Buchten- und Gruppengrößen realisierbar.

Durch ein hohes Maß an Standardisierung senkt man die Kosten und gewährleistet beim Stallbau durch die vorgefertigten Module kürzeste Bauzeiten. Durch die kurze Montagezeit auf der Baustelle wird witterungsunabhängiger gebaut.

## 4 Das Opti-Klima Prinzip

Während der Verweildauer der Luft in dem Zwischenraum von Güllewanne und Erdreich wird diese im Winter angewärmt und bei Sommerbetrieb ein Kühleffekt erreicht (Abbildung 2). Die Winterluftrate kann bei diesem System zu 100 % unter dem Stall angesaugt werden, bei der Sommerluftrate sind je nach Stalllänge ca. 60 % möglich. Die für den Landwirt entstehenden Kosten in Höhe von ca. 4 €/m<sup>2</sup> Stallgrundfläche resultieren aus dem erhöhten Arbeitsaufwand bei der Erstellung der Streifenfundamente und der Lufteintrittsöffnungen.

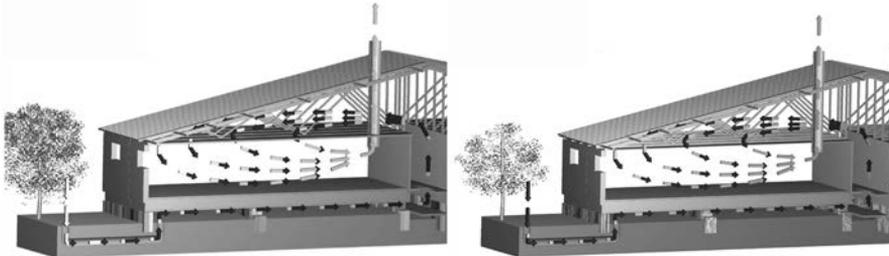


Abb. 2: Das Wärmetauschprinzip im Vario-Line Opti-Klima Modulstall im Sommerbetrieb (links) und im Winterbetrieb (rechts)

*The heat exchange principle of Vario-Line Opt-Klima in summer (left side) and winter (right side)*

Umfangreiche Untersuchungen von MOTHES (1973, nach TIEDEMANN, 1991) zeigen, dass die temperaturabhängigen Wachstumsdepressionen bei Schweinen abhängig von der Lebendmasse der Tiere sind. Schwerere Tiere sind kältetoleranter, leichtere Tiere sind wärmetoleranter.

Das KTBL (1991) empfiehlt 11,25 m lange Rohre DN 200 als Erdwärmetauscherrohre zu verwenden. Ein Rohr dieser Länge wird für 5 Mastplätze gerechnet. Das entspricht einer Erdwärmetauscheroberfläche von 1,4 m<sup>2</sup> je Mastplatz.

Diese Grundlagen sind in der Bauausführung des Vario-Line Opti-Klima Stalles berücksichtigt. Erste Praxiserfahrungen mit dem im Frühjahr 2004 in Betrieb genommenen 1000er Vario-Line Maststall mit Opti-Klima von Ludwig Wührer zeigen, dass auch in einer länger andauernden Hitzeperiode, wie sie im Juli und August 2004 aufgetreten ist, die Kühlleistung des Erdwärmetauschers anhaltend hoch war.

Zitat Ludwig Wührer: „Im Vergleich zum alten Stall, der ja ziemlich identisch ist (Anmerkung des Autors: mit dem neuen Vario-Line Modulstall in bezug auf Produktionsrichtung und Abteilgröße), bloß hat der keinen Erdwärmetauscher, sondern eine ganz normale Zulüftung, hat man nun den Unterschied gesehen. Bei den hohen Temperaturen jetzt im Sommer mit 30 bis 34 °C Lufttemperatur, haben wir in dem alten Stall bei gleicher Abteilgröße so ca. 34 °C im Abteil und in dem neuen Stall auch bei gleichen Tiergewichten haben wir so ca. 30 °C.“

### 4.1 Wirtschaftliche Gesichtspunkte des Erdwärmetauschers Opti-Klima

Nach Untersuchungen MOTHES (1973, nach TIEDEMANN, 1991) ergibt sich für Mastschweine mit einem mittleren Gewicht von 70 kg für eine angenehme Temperaturabkühlung um

3 K von 30 °C auf 27 °C eine Steigerung der Tageszunahmen um 150 g/d. Für die folgende Bewertung wird von einem Tageszunahme-Effekt in Höhe von 100 g/d ausgegangen. Es wird nur der durch die höheren Tageszunahmen gesparte Erhaltungsbedarf in Ansatz gebracht. Erhöhte Erhaltungsbedarfe zum Ausgleich der Körpertemperaturen (Hitzhecheln) bleiben unberücksichtigt. Der Effekt wird pro Tag dieser Wirkung ermittelt.

Tab. 1: Der Effekt der Kühlung durch den Erdwärmetauscher auf die Futterkosteneinsparung in Abhängigkeit von der Dauer der Kühlfunktion  
*The effect of number of earth heat exchanger cooling days on feed cost savings*

SMAG [kg]	SMEG [kg]	Mastdauer MD 1 ohne Wärme-tausch [d]	Tage mit Kühl-bedarf[d]	Mastdauer MD 2 mit Wärme-tausch [d]	Differenz MD 1 zu MD 2 [d]	Futterein-sparung an Differenztagen [kg]	monetäre Bewertung der Futter-einsparung [€]
25	110	113,3	20	110,7	2,7	2,6	0,59
25	110	113,3	40	108,0	5,3	5,2	1,19
25	110	113,3	60	105,3	8,0	7,7	1,78
25	110	113,3	80	102,7	10,7	10,3	2,37
25	110	113,3	100	100,0	13,3	12,9	2,97

Annahmen: Standardtageszunahmen: 750 g/d, Standardmastanfangsgewicht SMAG: 25 kg, Standardmastendgewicht SMEG: 110 kg, angenommene Erhöhung der Tageszunahmen durch Erdwärmetauscher an Tagen mit Kühlbedarf: 100 g/d, Erhaltungsbedarf für durchschnittlich 70 kg schwere Mastschweine je Tag: 11,6 MJ ME/d, Futterkosten für Futter mit 12 MJ ME/kg: 23,- €/100kg.

Tab. 2: Der Effekt der Heizung durch den Erdwärmetauscher auf die Heizkosteneinsparung in Abhängigkeit von der Dauer der Heizfunktion  
*The effect of number of earth heat exchanger heating days on heating cost savings*

WOF [m²]	HLM2 [W/m²]	Tage mit Heizbedarf [d]	Heizenergie an Tagen mit Heiz-bedarf [kWh]	Heizenergie-kosten aus Gas [€/kWh]	Heizenergieeinsparung je Mastschwein [€]
1,6	75	20	36,0	0,03	1,1
1,6	75	40	72,0	0,03	2,2
1,6	75	60	108,0	0,03	3,2
1,6	75	80	144,0	0,03	4,3
1,6	75	100	180,0	0,03	5,4

Annahmen: Wärmetauscheroberfläche je Mastschwein WOF: 1,6 m², Heizleistung je m² Wärmetauscheroberfläche HLM2: 75 W/m², Tage mit Heizbedarf: Tage mit Temperaturen unter - 4°C

Die winterliche Heizleistung eines „tief“ verlegten Erdwärmetauschers beträgt zwischen 50 und 150 W/m² Oberfläche (TIEDEMANN, 1991). Für die folgende Bewertung wird mit einer Heizleistung von 75 W/m² Oberfläche gerechnet. Die Wärmetauscheroberfläche beträgt bei dem Opti-Klima Stall ca. 1,6 m² je Mastschwein. Der bewertete Heizeffekt im Winter wird wie der bewertete Kühleffekt je Tag ermittelt.

Tab. 3: Die Summe von Heiz- und Futtereinsparung mit zunehmender Anzahl an Tagen mit Heiz- bzw. Kühlbedarf

*The effect of number of heating and cooling days on cost savings*

		Tage mit Heizbedarf [d]					
		0	20	40	60	80	100
Tage mit Kühlbedarf [d]	0	0,00 €	1,08 €	2,16 €	3,24 €	4,32 €	5,40 €
	20	0,59 €	1,67 €	2,75 €	3,83 €	4,91 €	5,99 €
	40	1,19 €	2,27 €	3,35 €	4,43 €	5,51 €	6,59 €
	60	1,78 €	2,86 €	3,94 €	5,02 €	6,10 €	7,18 €
	80	2,38 €	3,46 €	4,54 €	5,62 €	6,70 €	7,78 €
	100	2,97 €	4,05 €	5,13 €	6,21 €	7,29 €	8,37 €

Durch die Investitionskosten für die Fundamentanpassungen für den Opti-Klima Stall in Höhe von 4,- € je m<sup>2</sup> Stallgrundfläche können die Jahresfestkosten ermittelt werden. Für die laufenden Kosten, die durch Opti-Klima entstehen, wird für die höhere Ventilatorenleistung auf Grund der geringfügig höheren Druckdifferenz wie im KTBL Arbeitsblatt 1086 (1991) pauschal mit 10% höheren Kosten gerechnet. Annahmen:

- Investitionskosten Opti-Klima: 4,- €/m<sup>2</sup> Stallgrundfläche
- Stallgrundfläche je Mastplatz: 1 m<sup>2</sup>
- Abschreibungsdauer: 15 Jahre
- Verzinsung des eingesetzten Kapitals: 7 %
- Abschreibung: 4,- € / 15 Jahre = 0,27 €/Mastplatz
- Verzinsung: 4,- € / 2 \* 7 % = 0,14 €/Mastplatz
- Betriebskosten (pauschal für höhere Lüfterleistung): 0,30 €/Mastplatz
- Jahreskosten: **0,71 €/Mastplatz**

Wenn es nur Kühlbedarf gäbe, würde sich ab jährlich 24 Tagen leistungssteigernder Kühlwirkung des Opti-Klima Stalles unter den getroffenen Annahmen die Investition rechnen. Wenn es nur Heizbedarf gäbe, würde sich ab jährlich 14 Tagen heizkostensparender Heizwirkung des Opti-Klima Stalles unter den getroffenen Annahmen die Investition rechnen. Eine Zunahme der „Warmtage“ und „Kalttage“ hierüber hinaus verbessert die wirtschaftliche Situation.

Durch gleichmäßige Temperaturen soll in der Eberhaltung die Spermaqualität wesentlich verbessert und in der Sauenhaltung die Resorption der Föten im Deckzentrum verringert werden. Dann ist ein höherer wirtschaftlicher Ansatz für die Kühlung gerade in diesen Halungsabschnitten gegeben (DLG Merkblatt 332, 2003).

Das Gesamtkonzept, beginnend bei der Güllewanne bis zu dem abgewandelten Erdwärmetauscher ist einzigartig in dieser Form.

## 5 Literatur

- TIEDEMANN, H. (1991): Erdwärmetauscher. KTBL Arbeitsblatt 1086, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- TIEDEMANN, H. (1991): Erdwärmetauscher für Schweineställe. KTBL Schrift 340, KTBL Darmstadt.
- RATSCHOW, J.-P. ; SCHULTE-SUTRUM, R. (1999): DLG Merkblatt 332, DLG Frankfurt a. Main.

## **Intensivtierhaltung und Umweltschutz: Ein kombiniertes Verfahren zur Flüssigmist- und Abluftbehandlung**

### ***Intensive animal husbandry and environmental protection: A combination of liquid manure processing and exhaust air cleaning***

MARCUS KIUNTKE<sup>1</sup>, KLAUS FAHLBUSCH<sup>1</sup>, HERMANN VAN DEN WEGHE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> WEDA Dammann & Westerkamp GmbH, D-49424 Lutten

<sup>2</sup> Forschungszentrum für Veredelungswirtschaft, Universität Göttingen, D-49377 Vechta

**Schlüsselwörter:** Mastschweine, Gülleverarbeitung, Luftwäscher

**Keywords:** *Fattening pigs, manure processing, airscrubber*

### **Zusammenfassung**

*Ziel des Verfahrens ist eine weitgehende Reduzierung negativer Umwelteinflüsse, insbesondere durch Schadgase in der Abluft von Viehhaltungsanlagen und die übermäßige Anwendung von Gülle als Wirtschaftdünger. Das Verfahren ECOWEL wurde von der Firma WEDA entwickelt. Die frische Gülle wird separiert. Die Feststoff-Fraktion wird anschließend granuliert und weiter getrocknet. Der überschüssige Stickstoff in der Dünnfraktion der Gülle wird nitrifiziert und denitrifiziert. Die Fraktion wird anschließend einer Druckfiltrationsanlage zugeführt und danach zur Deckung des Wasserbedarfs eines Bio-Luftwäschers verwendet. Es kommen zwei neue Fest-Flüssig-Trennapparate zum Einsatz: ein weiterentwickelter Pressschneckenseparator und eine Druckfiltrationsanlage, das sogenannte Tower-Filter.*

### **Summary**

*A goal of the process is the large reduction of negative environmental influences in particular by noxious gases in the exhaust air of animal husbandry plants and the excessive application of liquid manure. The process has the name ECOWEL and was developed by the company WEDA. The fresh liquid manure from the stable is separated. The solid fraction is afterwards granulated and continued to dry. The surplus nitrogen in the liquid fraction of the liquid manure is nitrified and denitrified. The liquid fraction is supplied afterwards to a pressure filtration plant. The filtrate is then supplied for the covering of the water requirement of a bio air washer. Two new solid-liquid separators are used: a further developed screw press separator and a pressure filtration plant, the so-called Tower filter.*

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel dieses Verfahrens ist die weitgehende Reduzierung von negativen Umweltbeeinflussungen durch die intensive Viehhaltung. Dies sind im wesentlichen umweltschädigende Einflüsse durch Schadgase in der Abluft von Viehhaltungsanlagen und solche, die auf die Lagerung und Anwendung der Gülle zurückzuführen sind. Dabei wird ein dezentrales Konzept verfolgt, das zudem modular aufgebaut ist und demzufolge genau an die individuellen Erfordernisse des Betriebes angepasst werden kann. Außerdem ist der Anbau oder Ausbau an bestehende Stallanlagen möglich. Zielgruppe dieser Technologie sind insbesondere Schweinemast-Betriebe mit einer Größenordnung von mehr als 2000 Tierplätzen. Ziele des Verfahrens sind

- die Herstellung eines transportwürdigen Düngers in Form von Feststoff-Granulat,
- die Volumen-Reduzierung der Gülle-Dünnfraktion und die
- Reduzierung der Ammoniak-, Staub- und Geruchsemissionen aus dem Stallbereich.

Das Verfahren hat den Namen ECOWEL und wurde von der Firma WEDA entwickelt. Die wissenschaftliche Betreuung des Pilotprojektes erfolgt durch das Forschungszentrum für Veredelungswirtschaft in Vechta. Das System befindet sich derzeit in der Erprobungsphase in einem praxisrelevanten Maßstab.

## 2 Material und Methoden

Die frische Gülle aus dem Stall wird zunächst entsprechend dem Tagesanfall einem Pressschneckenseparator zugeführt. Die Feststoff-Fraktion aus der Separierung, wird anschließend granuliert und in dieser Form einem mehrstöckigen Bandtrockner zugeführt. Das Granulat wird in dem Trockner auf einen Trockensubstanzgehalt von über 80 % getrocknet. Die Gewichtsreduzierung der Pellets gegenüber der Gülle beträgt etwa 90 bis 95 %, wodurch erhebliche Transportvorteile erzielt werden. Die Dünnfraktion aus der Separierung wird dem Bioreaktor zugeführt. Durch Nitrifikation und Denitrifikation wird der überschüssige Stickstoff im Form von  $N_2$  (gasförmig) an die Umgebung abgegeben. Die biologische Verarbeitung erfolgt in einem **Sequential Batch Reaktor (SBR)**. Mit dem SBR-Verfahren wird eine Reduzierung der Gesamt-Stickstoff Fracht in der Gülle-Dünnfraktion um mindestens 90 % erreicht. Außerdem werden Geruchstoffe wie z. B. flüchtige Fettsäuren vollständig abgebaut. Der Ablauf aus der Biologie ist demnach nahezu geruchlos und stickstoffarm. Aufgrund des geringen Ammonium-Gehaltes ( $< 50 \text{ mg/l}$ ) und der Abwesenheit geruchsintensiver Stoffen, kann die Flüssigkeit mit Luft in Kontakt gebracht werden ohne das nennenswerte, zusätzliche Emissionen auftreten.

Der Ablauf aus dem SBR wird einer Druckfiltrationsanlage zugeführt. Das Filtrat ist praktisch frei von Feststoffen (SS-Abscheidung  $> 99,8 \%$ ) und wird einem Bio-Luftwäscher zugeführt. Die große Kontaktfläche des Rieselbettes macht es möglich, Ammoniak und geruchsintensive Stoffe in großer Menge aus der Luft in die Flüssigkeit zu überführen. Der Wasserbedarf des Bio-Luftwäschers soll weitgehend mit dem Ablauf aus dem Bioreaktor bzw. der Filtration gedeckt werden. Um das Verdunstungspotential voll ausschöpfen zu können ist ein Filtratspeicher vorgesehen. Ein Teil der Waschflüssigkeit wird als Schlamm abgezogen und dem Endlager zugeführt.

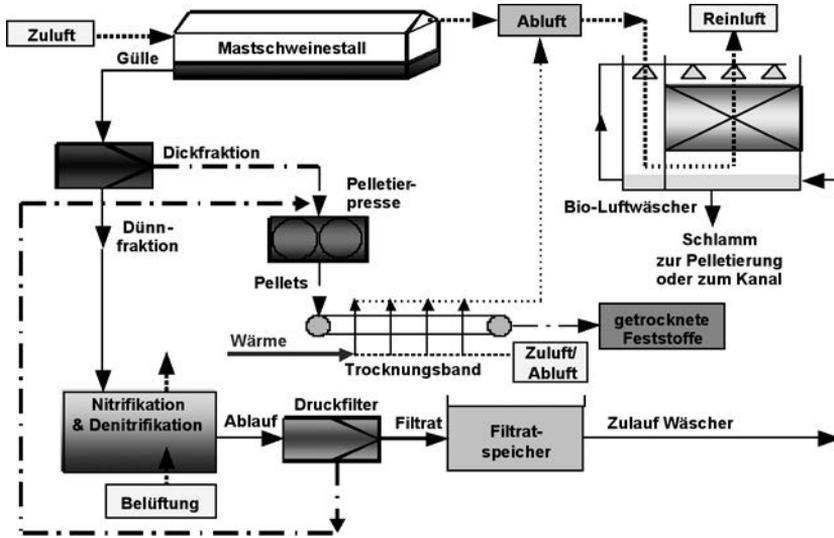


Abb. 1: Schema des ECOWEL-Farmsystems

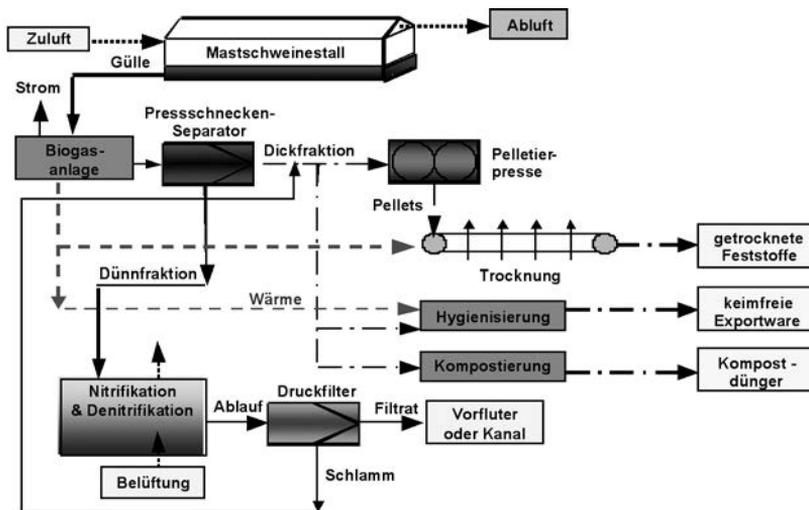


Abb. 2: Beispiel mit Biogasanlage und Möglichkeiten der Feststoffkonditionierung

Ausgehend von diesem Grundschemata sind zahlreiche Varianten möglich, die sich durch die Einbeziehung einer Biogasanlage ergeben. Wie in Abb. 2 gezeigt, kann im Einzelfall auch eine Konditionierung der Feststoffe durch Trocknung, Hygienisierung oder Kompostierung erforderlich sein. Auch die Abluftreinigung stellt eine Option dar, auf die im Einzelfall verzichtet werden kann. Eine Schlüsselposition in den hier vorgestellten Verfahrensvarianten nimmt die Fest-Flüssig-Trennung von Gülle bzw. Gärsubstraten ein. Zur Erfüllung der besonderen Anforderungen im landwirtschaftlichen Bereich mussten spezielle Maschinen bzw. Apparate entwickelt werden. Daraus hervorgegangen sind bisher ein weiterentwickelter

Pressschnecken-Separator und eine Druckfiltrationsanlage, das sogenannte Tower-Filter. Die Unterschiede liegen insbesondere in den erreichbaren Abscheidegraden und den damit verbundenen Betriebskosten, wodurch sich unterschiedliche Einsatzbereiche für beide Apparate ergeben.

### 3 Ergebnisse der Voruntersuchungen

**Pressschneckenseparator:** Die Gülle bzw. das Gärsubstrat wird dem Separator ohne Zusatzstoffe zugeführt. Die Trennung in eine feste und eine flüssige Fraktion erfolgt zweistufig: In der ersten Stufe wird der größte Teil der Flüssigkeit durch ein Spaltensieb mit einer Spaltenweite von 0,35 bis 0,7 mm abgetrennt. Anschließend erfolgt eine Nachentwässerung der festen Fraktion mit Hilfe eines Lochsiebes. Der Gegendruck auf den Feststoffpfropfen wird mit einem Druckluftzylinders aufgebracht, der auf einen kegelförmigen Verschluss wirkt.

Tab. 1: Pressschneckenseparator, Verteilung auf feste und flüssige Fraktion (%)

Gülle	Feste Fraktion	Flüssige Fraktion
Masse	9	91
Trockenmasse	50	50
Gesamt-Stickstoff	16	84
Phosphat ( $P_2O_5$ )	38	62
Vergorene Gülle	Feste Fraktion	Flüssige Fraktion
Masse	12	88
Trockenmasse	60	40
Gesamt-Stickstoff	21	79
Phosphat ( $P_2O_5$ )	52	48

Der Separator wurde mit Gülle und vergorener Gülle ohne Co-Substrate getestet. Die gemittelten Separationsergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt. Das zugeführte Material wurde zu 9/12 % (Gülle/vergorene Gülle) in eine feste Fraktion und zu 91/88 % in eine flüssige Fraktion separiert. Die Trockenmassegehalte der Feststofffraktion waren mit 39/29 % recht unterschiedlich. Eine besonders gute Abscheideleistung zeigte der Separator bezüglich der Trockenmasse mit 50/60 % (Gülle/vergorene Gülle) und für Phosphat 38/52 % (Gülle/vergorene Gülle). Bezüglich Gesamt-Stickstoff wurden lediglich Abscheidegrade von 16/21 % gemessen, was auf den hohen Anteil an gelösten Stickstoffverbindungen in Form von Ammonium zurückzuführen ist. Insgesamt waren die Abscheideergebnisse für das vergorene Material etwas besser als bei unvergorener Gülle.

Tab. 2: Tower-Filter, Verteilung auf feste und flüssige Fraktion (%), TIMMERMAN (2004)

	Feste Fraktion	Flüssige Fraktion
Masse	30	70
Trockenmasse	88	12
Organische Masse	95	5
Stickstoff	51	49
Ammonium-N	34	66
Organischer-N	95	5
Phosphat ( $P_2O_5$ )	99	1
Kalium ( $K_2O$ )	31	69
Natrium ( $Na_2O$ )	29	71
Magnesium ( $MgO$ )	84	16

**Tower-Filter:** Chargen der Gülle werden vom Güllelager in den Anmischtank gepumpt. Nach dem Aufrühren werden Koagulations- und Flockungsmittel hinzugefügt und nach der letzten Zugabe wird der Behälter erneut gerührt. Die Mischung wird in kleinen Chargen in das Tower-Filter gepumpt und anschließend in eine feste und eine flüssige Fraktion getrennt. Das Prinzip der Separation basiert auf der Druckfiltration. Die flüssige Fraktion wird in einen Lagertank gepumpt und die feste Fraktion wird mit einer Austragsschnecke oder einem Förderband weggefördert.

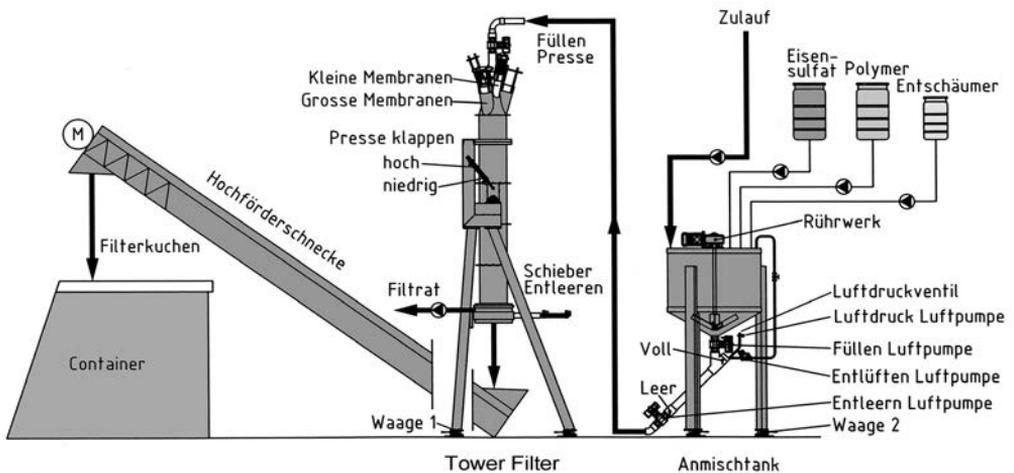


Abb. 3: Druckfiltrationsanlage Tower-Filter

Im Rahmen eines Dauerversuchs über vier Tage wurde das Tower-Filter mit fermentierter Gülle getestet. Insgesamt wurden 22.345 Liter Gülle separiert. Die folgenden Stoffe wurden in Chargen miteinander vermischt: 300 kg Gülle mit 5,62 kg Eisensulfat, 12,5 kg Polymerlösung und 0,05 ml Entschäumungsmittel. Die Kapazität des Filters lag während des viertägigen Ver-

suches bei etwa 12 m<sup>3</sup> pro Tag. Die Separationsergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die zugeführte Gülle wurde zu 30 % in eine feste Fraktion und zu 70 % in eine flüssige Fraktion separiert. Nahezu die gesamte organische Masse, der organische Stickstoff, das Phosphat und der größte Teil des Magnesiums gelangte in die feste Fraktion. Die Filtration hat keine Auswirkung auf die Konzentrationen von Ammonium-Stickstoff, Kalium und Natrium in der festen und der flüssigen Phase. Die flüssige Fraktion besteht nahezu ausschließlich aus gelösten Bestandteilen mit einer Konzentration von weniger als 1 % an organischen Substanzen. Die Investitionskosten wurden mit 1,69 € per Tonne Gülle und die Betriebskosten mit 3,49 € per Tonne Gülle veranschlagt.

#### 4 Ausblick

Die Anlage befindet sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes in der Bauphase. Mit ersten Ergebnissen zur Leistung der Abluftreinigungsanlage, des SBR und der Trocknungslinie ist ab Mitte 2005 zu rechnen. Eine zuverlässige Kostenabschätzung für das gesamte System ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht möglich. Die Herstellung eines transportwürdigen Dünger-Granulates mit einer Restfeuchte von weniger als 20 % ist mit vertretbarem Aufwand erreichbar. Die biologische P- und N-Reduzierung in Gülle ist ein in zahlreichen Anwendungen erprobtes Verfahren. Die angestrebten Abbaugrade sind durch Praxisuntersuchungen belegt, z. B. FERNANDES (1994), WILLERS et al. (1996). Das Rieselbettverfahren wird seit vielen Jahren im Bereich der Abluftreinigung an Viehställen eingesetzt. Für Ammoniak werden bei geeigneter Auslegung dauerhaft Emissionsminderungsgrade oberhalb von 50 % erreicht. Bei den Geruchsemissionen schwanken die Minderungsgrade jedoch erheblich in einem Bereich zwischen 23 und 91 %, KIUNTKE (2001). Die Dimensionierung erfolgte in Anlehnung an Erfahrungswerte mit bestehenden Anlagen und anerkannten Regelwerken, z. B. VDI-Richtlinie 3478.

#### 5 Literatur

FERNANDES, L. (1994): Effect of temperature on the performance of an SBR treating liquid swine-manure, *Bioresource Technology* 47: 219–227.

KIUNTKE, M. (2001): Untersuchung von Biofiltern und Biowäschern hinsichtlich der Minderung von Ammoniak- und Geruchsemissionen, Abschlußbericht EU-Ziel 5b-Projekt, LUFA, Landwirtschaftskammer Weser-Ems.

TIMMERMAN, M (2004): Manure separation with the WEDA TowerFilter®, Animal Sciences Group of Wageningen UR, NL.

VDI-RICHTLINIE 3478: Biowäscher und Rieselbettreaktoren, Verein deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1996.

WILLERS, H. C., DERIKX, P. J. L., TEN HAVE, P. J. W., VIJN, T. K. (1996): Emission of ammonia and nitrous oxide from aerobic treatment of veal calf slurry, *J. Agric. Engng. Res.* 63: 345–352.

## **Production of meat and vegetables in a stable-greenhouse symbiosis system: The beginning of a green revolution? *Produktion von Fleisch und Gemüse in Symbiose: Der Beginn einer grünen Revolution?***

**AAD VAN DER WIJNGAART**

Van der Wijngaart's Engineering Services, Kapelstraat 40, NL-4841 GJ Prinsenbeek

**Keywords:** Animal farming, green farming, environment, closed system, reduction of energy, greenhouse gasses, economic improvements

**Schlüsselwörter:** Vieh, Grünland, gemischte Landwirtschaft, Gewächshäuser, Umwelt, Reduzierung, Energie, Treibhausgase, ökonomische Verbesserung

### **Summary**

*Agricultural production creates many problems like air-, soil and groundwater pollution and heat and CO<sub>2</sub> emissions causing global warming. Many problems are caused by specialisation. Fifty years ago it was much simpler. People had their own pig, chickens and a vegetable garden. Kitchen waste went to the animals, manure was used to feed the plants. There were no rests at all! With the increase of population more food was needed, in consequence some people became responsible for the food production. This was the beginning of specialisation and the beginning of current problems. The mixed farmyards became out of interest and food industrialisation began. By reintroducing the "mixed farmyard" at a "high tech" level of the year 2000+ many problems are solved even improving the balance between human beings, animals/greens and the environment. The signal is: more profit for the farmer in a symbiosis. Is this the beginning of a green revolution?*

### **Zusammenfassung**

*Die landwirtschaftliche Produktion verursacht viele Probleme wie Luft-, Boden- und Grundwasserverschmutzung, Wärme- und CO<sub>2</sub>-Abgabe bewirken globale Erwärmung. Häufig ist Spezialisierung die Ursache. Vor 50 Jahre hatte jeder sein Schwein, Hühner und einen Gemüsegarten. Küchenabfälle landeten bei den Tieren, der Mist wurde als Dünger genutzt. Es gab keine Abfälle! Mit der Bevölkerungszunahme verlor diese gemischte Bewirtschaftung an Bedeutung, die Nahrungsproduktion wurde industrialisiert. Mit dieser Spezialisierung begannen die Probleme. Auf dem technischen Niveau des Jahres 2000+ zurück zum „Gemischten Bauernhof“ könnte viele Probleme lösen und die Balance zwischen Mensch und der Umwelt wiederherstellen. Das Motto heißt: Mehr Profit für den Landwirt mittels Symbiose. Ist dies der Beginn einer grünen Revolution?*

## 1 Introduction

Being a farmer is a very old profession. In former days the farmers had a piece of land for their own and later for their family and neighbourhoods. Nowadays with all the year round availabilities of specific food, production is for the global market. Farmers need to compete with low wage countries like Brazil, Argentina, Poland, Morocco etc. The western countries must increase the scale of operation, reduce overheads and extra costs if they want to compete with the low wage countries. In the current economical model the problems for the environment are increasing too!

## 2 Description of the problem and goal

Production of meat and vegetables becomes more intensively. Animals like pigs are held in concentrated places and in a huge volume. Animals are living in buildings on grids above **open sewers** where they inhale ammonia and other poisonous gasses. Due to this situation most of the animals are getting sick like illnesses on lungs and liver. In order to reduce the concentration of ammonia, the air in the stable is being replaced many times per hour ( $60 \text{ m}^3/\text{pig/h}$ ) resulting in a draught inside the stable. Besides the air pollution, which is being noticed by the inhabitants, there is the **invisible pollution** by (body) heat and  $\text{CO}_2$ , which is causing global warming. Besides the air pollution it can be noticed that manure is causing soil pollution by concentrating phosphorous in the soil and ground water pollution by increasing nitrate concentration. The later situation is caused by spreading manure over the acres for fertilisation. In principle the stable is producing pig meat but also rest water of manure and condensation from breathing but also minerals (faeces) and heatenergy combined with  $\text{CO}_2$ . Besides the enormous losses on valuable rest products this type of industry is not very profitable. Only 2 % of the turnover is income for the farmer (based on 5.000 meat pig places).

Growing vegetables in greenhouses is an accepted operation but also there are many problems to notice. The first one is the enormous quantity of consumption of natural gas. This sector is confronted with enormous "unseen" problems like  $\text{CO}_2$  and heat emission causing global warming. At the same time there are emissions to water. The total efficiency is modest. Profit for the farmer is 3,5 % of the total turn over.

The goal will be to recycle as many rest products of the meat production process and transform it to be used in a greenhouse. Those rest products are water, minerals,  $\text{CO}_2$  and heat. At the same time it is necessary to increase the income of both farmers (pig farmer and green grower). This is the "birth" of the mixed farmyard according to high technological standards of the year 2000+.

## 3 What will be the solution?

From the Figure we learn that pigs (animals in general) consume food which is biomass. For breathing they inhale oxygen out of the air. By consuming this food they produce "body" heat and are releasing  $\text{CO}_2$  by breathing out. As not all the food is transferred into meat, they produce (urine)water and (manure)minerals. Figure 1 shows that plants need  $\text{CO}_2$  for

fertilisation, need heat for the growing process and also need water and minerals. Plants are releasing oxygen.

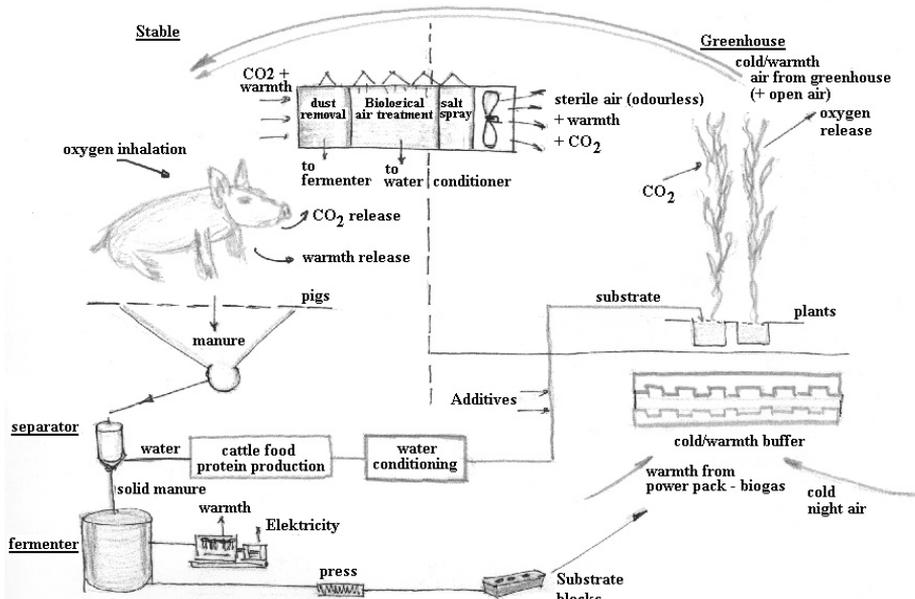


Fig. 1: Principle of stable-greenhouse symbiosis  
 Das Prinzip einer stabilen Gewächshaus-Symbiose

### 3.1 What do we see?

There is an exact balance in the needs and supplies of the animal and plant. In other words; exact the waste of the one is the food for the other. See here the perfect natural working cycle. Every item is re-used in the cycle. This is the key to improve the whole cycle. In this option, which we call "W.E.S.-symbioses" the waste has a value rather than it cost money to get rid off.

### 3.2 What can we do with above mentioned information?

In the beginning we have said that increase in scale of individual pig farm and individual greenhouse will cause problems which are even higher than in smaller production plants. The environmental problems are increasing with the size of the production plant. Can we compete with the far away production countries like Brazil/Argentina and other low labour cost countries? The answer is "YES", but we have to stop thinking in nowadays conventional solutions. One important message is that nowadays the pig farm is earning only 2 % while the greenhouse only earns 3,5 % of his total turn over, when producing individually!

### 3.3 What will be causing the “green revolution”?

History shows us that revolution leaves the old situation behind and the past is finished. The green revolution requires an open mind for new developments and adoption of new principles. Here is our solution showed, in a technical scheme.

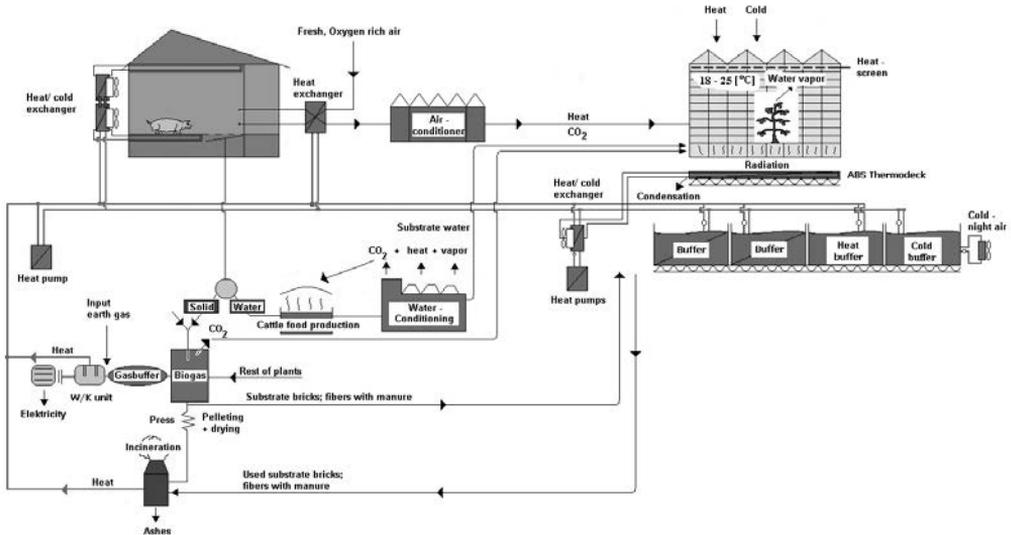


Fig. 2: Technical scheme of stable-greenhouse symbiosis  
Technisches Schema einer stabilen Gewächshaus-Symbiose

This symbiosis consists of two important operation i.e. a closed stable and a closed greenhouse. In the closed stable fresh air is suctioned from the atmosphere and is conditioned in an air cleaning section. The volume of air needed for breathing is reduced from 60 to 5 m<sup>3</sup>/pig/h. This solution reduces the draught through the stable. There are provisions to abort the “body” heat as well as to prevent ammonia formation inside the stable. This is created by installing a manure separation belt. In the closed greenhouse the temperature is hold at 18–25 [°C]. When the outside temperature is low, stored heat in ground located water basins is released. At the same time the breathing pig air, including CO<sub>2</sub> is released to the greenhouse at higher concentrations. When the greenhouse has 1.000 ppm of CO<sub>2</sub>, the tomatoes are growing faster and there is more yields (20 % more). In the pig stable the climate is free from stress and this will result in 10 % more meat with 8 % less food. This is a tremendous brake through in the production process and will lift the total efficiency of the W.E.S. symbioses resulting in an increase in production at lower costs. Animal health is much better and rejects are reduced and also the costs for medication. Besides the improvement in production it is also possible to re-use the separated manure and water volume. Urine water is treated to become fertilizer for the greenhouse while solids are treated in a compact biogas fermenter. The biogas can be used in a biogas conversion system to create electricity and heat. With additional natural gas the total energy-need will be covered. For cooling purposes the cold of the night is stored

in cold buffer which cooling will be used for the greenhouse and the stable. When there are unbalances in the energy system a heat pump will be activated.

What will this new process of production bring us (based on 5000 pig places and 2,9 ha greenhouse) versus the individual stable and greenhouse?

- **Biomass; the total volume of biomass waste has been reduced with 41 %.**
- **Water; the total reduction of water needs is reduced with 53 %.**
- **Minerals; the total reduction on minerals is 53 % lower.**
- **Energy; the total amount of energy required for the total symbioses is 51 % lower.**
- **CO<sub>2</sub>; we have reduced the CO<sub>2</sub> production with 39 %.**

### 3.4 What will bring the “W.E.S. symbioses” in the economic field?

In this concept the old stables cannot be used. A closed new stable is needed. In such stable 10 % more meat is produced with 8 % less food. In the greenhouse 20 % more tomatoes are growing with lower energy needs and reduced costs for CO<sub>2</sub> production. We have made a calculation for both production sources individually as well as the production in a symbioses, shown in Tab. 1.

Tab. 1: Calculation of farmer income and cost reduction  
*Einkommen und Kostenreduktion*

Current situation “island” production	
Piggery(5.000 pig places):	Greenhouse (2,9 ha):
Profit entrepreneur = € 33.140	Profit entrepreneur = € 39.091
Cost price 1 kg meat = € 1,32	Cost price 1 kg tomatoes = € 0,77
Economical situation stable - greenhouse symbioses	
Pig compartment (5.000 pig places)	Greenhouse compartment (2,9 ha):
Profit entrepreneur = € 33.140	Profit entrepreneur = € 39.091
Cost price 1 kg meat = € 1.08	Cost price 1 kg tomatoes = € 0.62
Income at old cost price in stable- greenhouse symbioses	
Cost price 1 kg meat = € 1,32	Cost price 1 kg tomatoes = € 0,77
Income entrepreneur = € 389.790	Income entrepreneur = € 299.638

## 4 Environmental benefits

Besides the economical benefits we have reached a reduction in CO<sub>2</sub>. To indicate the impact of such reduction we have calculated that 14 million pigs in the Netherlands will reduce the CO<sub>2</sub> production with **5,031,600 tons per year**, if they all are connected to greenhouses. The volume of CO<sub>2</sub> is comparable with the exhaust of *2,2 million* of cars driving 15,000 km per year consuming petrol 1:10. This reduction will be obtained *each* year again.

## 5 Discussion

The W.E.S. symbioses is a first step to think in a new and sophisticated production concepts. This concept solves many problems at the same time and will bring enormous benefits while producing meat and vegetables. Such a production cell could be created at the outside of cities or villages. The advantage is that always fresh products are available while the need of production space is limited. The system does not have the bad odour like with present stables. In fact, there is no bad *odour* at all.

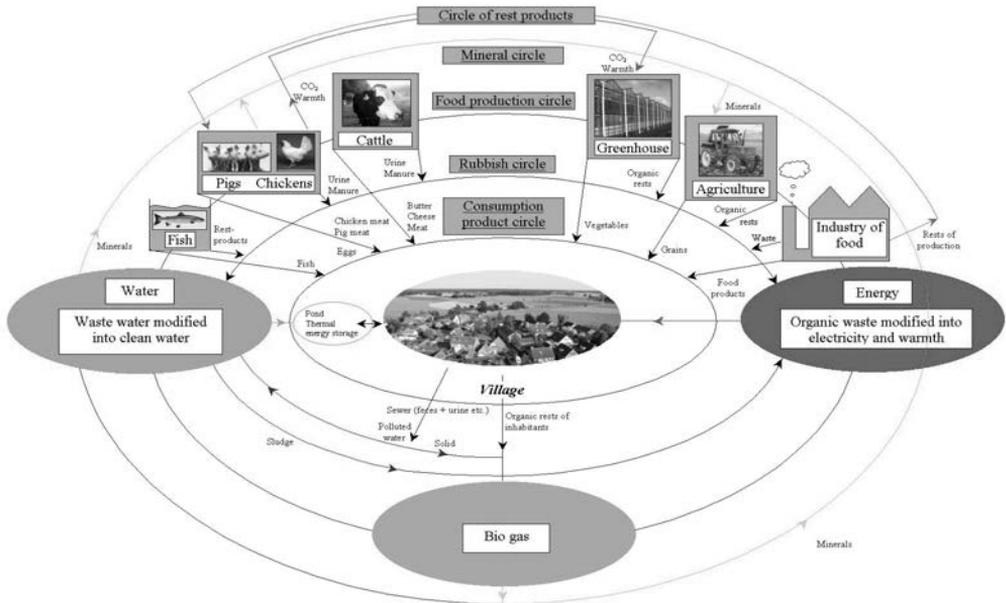


Fig. 3: “Circles of Life”

The symbiosis could be a first step in a total new integrated living concept where living, working, food production is integrated in the society. This is the WES “**Circles of Life**” concept.

The WES “Circles of Life” combines the rest streams of the production processes with the rests of the citizens. Water will be refined and reused as drinking water, while the organic materials are being transformed into biogas and energy. Those resources are used both by the citizens and the production location. Nothing gets lost.

## 6 Recommendation

We would like to start to build a prototype symbioses system as an initial set up for 500 pigs combined with 3.000 m<sup>2</sup> greenhouse. Such a set up will bring the necessary technical and production data to be able to scale up the process after the test phase. The symbioses has many “faces” and in a later stage other combinations can be added to the basic symbioses concept like mushrooms, fish production, etc.

**Buildings for sheep farming: Towards a sustainable typological system for Sardinia, Italy**  
***Bauten für die Schafhaltung: Hin zu einem typologischen System tragbar für Sardinien***

STEFANO DE MONTIS, ANDREA DE MONTIS, MARIO BARRA

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione Costruzioni e Infrastrutture  
 via De Nicola, I-07100 Sassari

**Keywords:** Sheep-farming, extensive rearing, sustainable systems  
**Schlüsselwörter:** Zootechnische Konstruktionen, Schafe, Umwelt

### **Summary**

*The aim of this paper is to present a typological housing system for sheep farming based on the following four main building types: intensive (1100 sheep; semi-intensive (600 sheep); "marginal" (300 sheep) for economies which are lagging behind; and „protected“ (150–200 sheep) for natural parks and reserves. The last two types are suitable for environments where extensive farming may be a starting strategy for encouraging resettlement processes.*

### **Zusammenfassung**

*Ziel der vorliegenden Abhandlung ist die Illustration eines typologischen Bausystems für die Schafhaltung, welches grundsätzlich in vier Basistypen unterteilt ist. Diese Typen sollen als Bezugspunkte für die bauliche und betriebliche Neuorganisation in vier Interventionsgebieten dienen: Bau-Typ für die Intensiv- und Semiintensivhaltung vorgesehen für Ebenen und leicht hügelige Gebiete geeignet für Unternehmen und eine vernünftige Einführung, wie im Falle der technologischen Neuerungen (für 900 und 600 Stück Vieh); Übergangs-Bau-Typ für die Semiintensivhaltung vorgesehen für Randgebiete, charakterisiert durch Weide- und Ackerbauwirtschaft (für 300 Stück Vieh); Minimal-Bau-Typ für die Haltung in geschützten Gebieten wie Parkanlagen oder Naturschutzgebieten (150–200 Stück Vieh).*

## 1 Introduction

Recently there have been many studies on the design of less intensive structures for livestock in general, and sheep in particular (DE MONTIS, 1983, 1996 and 1997; DE MONTIS, S. and BARRA, 1997). Research, reports and contributions about the spread of important diseases (e. g. blue tongue) have clearly demonstrated that one of the main causes is the trend towards increasing the stocking rate.

Innovative strategies should be tailored to the capacity of particular local productive and cultural environments to learn and grasp the opportunities connected with, in particular, improving the confinement systems in modern sheep farms and, in general, rationalizing their management systems.

Thus in areas that are lagging behind or in protected natural areas, it is often better to introduce new building types and farming patterns gradually, and to adopt techniques which fit in with local attitudes towards receiving and elaborating new technical and organizational concepts.

The aim of this paper is to present a typological housing system for sheep farming based on four main building types, with a view to solutions for extensive farming. The contents of this paper are discussed as follows. In part A, the organization and the health and bio-safety aspects are referred to the proposal of essential standard dimensions, which should guide the project of extensive sheep farming buildings. In part B, a four type based building system is illustrated as it is derived from the requirements enlightened in part A. In the conclusion, final remarks are synthesized on future development of extensive sheep farming in Sardinian protected areas.

## 2 Part A – From the organization to the standard dimensions

### 2.1 Organisation of animal raising

The fundamental operations of a modern livestock farm are becoming increasingly similar for all species.

Today animal feed is increasingly harvested forage kept in silos or barns, or direct grazing by the flocks of fenced areas of pasture. These areas are often sub-divided and the rotational grazing system is used, which allows the pasture to regenerate.

The resting zone is normally permanent straw bedding, as at the moment slatted flooring is impractical, both because of the quantity of excrement and because this type of flooring is unsuitable for sheep due to the small size of their hooves.

The milking takes place in specially equipped stalls which conform to EC Directive 92/46, which was rapidly complied with in Sardinia. This directive enabled innovative techniques to be introduced more efficiently, as it covered not only the optimal conditions for hygiene and milk quality, but also the environment in which the animals should be housed.

## 2.2 Health and Bio-safety aspects

The hygiene and health conditions inside the building environment are of great interest, and not only in the milking and milk collection areas but also all the areas where the animals rest and are kept. In recent years hundreds of thousands of head of sheep have been slaughtered because of localised outbreaks of “blue tongue” in different zones of Sardinia.

One reason for the epidemic spread of the disease is the presence of stagnant pools of water, which provide breeding grounds for the insects which spread the disease. Another is the over-concentration of sheep in unhygienic buildings which do not have adequate spaces to treat the disease. These are not cleaned as frequently as they should be and the straw bedding is changed infrequently, if at all. This is accentuated by limited use of straw and, in general, the poor quality of management of the animals. These precarious situations often create unfavourable environmental conditions, including excessive relative humidity and temperature. To counteract the above, two important factors have been introduced into the designs for new buildings:

- The space per head has been greatly increased;
- Environmental protection instruments have been introduced, with modular fine mesh filters inside the window and door openings. The windows and doors open outwards and in this way insects cannot enter if these are left open during the nocturnal resting period when the sheep are kept inside.

## 2.3 Essential Standard dimensions

The following are the essential standard dimensions necessary to meet bio-safety and health requirements:

- The sheep pens should provide a minimum of between 1.00 and 1.2 square metres of surface space per head of sheep;
- The feeding troughs, which may also be accessible from two sides, should provide 0.33 metres of access per head of sheep.
- In the zone where the sheep wait to be milked there should be 0.30 square metres of surface space per head of sheep, bearing on mind that the maximum concentration is only momentary and occurs solely at the start of milking.

# 3 Part B – Sustainability and extensive sheep farming buildings

## 3.1 Types of Buildings

The essential building units in the project are as follows: a) the stalls for the animals, b) the barn or feed store, c) the milking parlour.

Aggregating single modular units when planning and building the sheep farm allows one to resolve the problems of what type to use. In this way the area of paddock, which includes areas for feeding the animals and other ancillary services, can also be defined.

In detail the complex of buildings consists of sheep pens, a barn, a milking parlour and a well equipped paddock. The sheep pen is a single well-lit hangar-type building which is either

closed or can be closed on three sides, and with a continuous concrete floor covered in straw; the barn is of the same type as the sheep pens and must be high enough to allow optimal ventilation conditions for the feed and also to enable machines to be used to store and transport the feed ; the milking parlour is organised into three separate zones: the waiting area, which is large enough to hold the whole flock, the milking area, the area for milk collection and other services; the paddock, which is surrounded by the previously mentioned buildings, and is equipped with roofed feeding troughs which can be accessed from both sides.

The dimensions meet the specific standards established for the minimum surface area per head of sheep. All the buildings use the same norms, following the module M x M. The types of buildings can be adapted for 4 different types of farming: intensive and semi-intensive for 900 and 600 sheep, "marginal" for 300 sheep and "protected" for 200 sheep.

Below there is a summary of the farm building organisation, the floor space and certain planning and construction aspects for the 4 types of farm.

### 3.2 Building layout

Buildings for 900 sheep, the most common form of commercial farm organisation, consist of 2 sheep pens, a feed barn, a milking parlour and a paddock equipped with 5 linear double-sided feeding troughs. The buildings form a closed compact courtyard: the barn and milking parlour form the short sides of the rectangle, while the sheep pens, in two identical buildings, form the longer sides. The paddock is enclosed inside the rectangle and houses the feeding troughs, some of which are roofed.

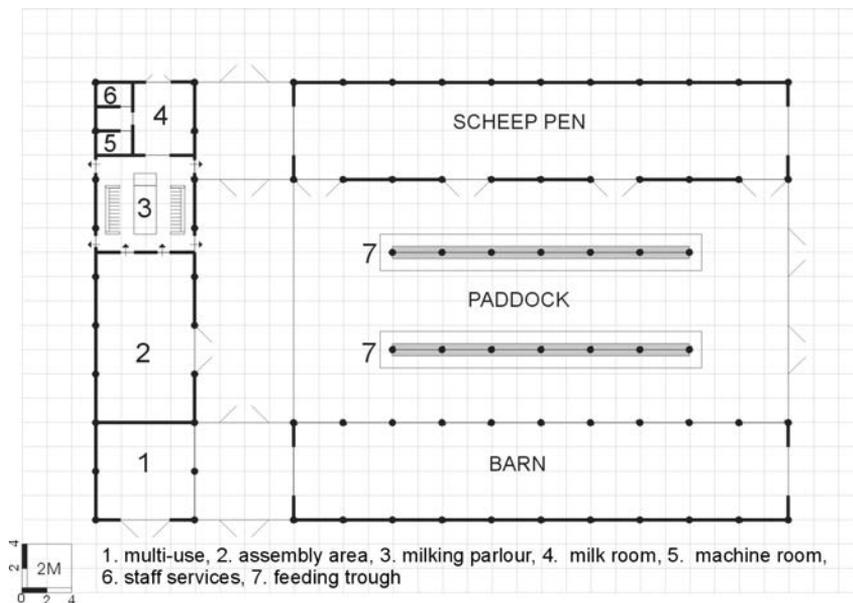


Fig. 1: Buildings for "marginal" farms (300 sheep)  
*Bau-Typ für Randgebiete für 300 Stück Vieh*

Buildings for 600 sheep, increasingly used on the island, are a development of the system described above except that only one hanger-type building is used for the sheep pens and not two, and so one side of the farm-plant is not enclosed. The fourth side consists of a 1.50 metre high wall. The sheep pens form the longer side and the barn and milking parlour the two shorter ones. The four sides determine the area of the paddock, once again equipped with 5 linear double-sided feeding troughs.

Plants for 300 sheep, which may be located in peripheral marginal areas, (Figure 1) consist of a complex of farm buildings, which enclose three sides of the area. The sheep pens and the barn form two sides of the rectangle while the milking parlour forms the third, shorter, side. The paddock lies between the two longer buildings and is equipped with two covered linear double-sided feeding troughs. The fourth side consists of a 1.50 metre high wall. The size of 300 head of sheep is the minimum threshold necessary to pay off the capital invested in buildings. The four sides determine the area of the paddock, once again equipped with 2 linear double-sided feeding troughs.

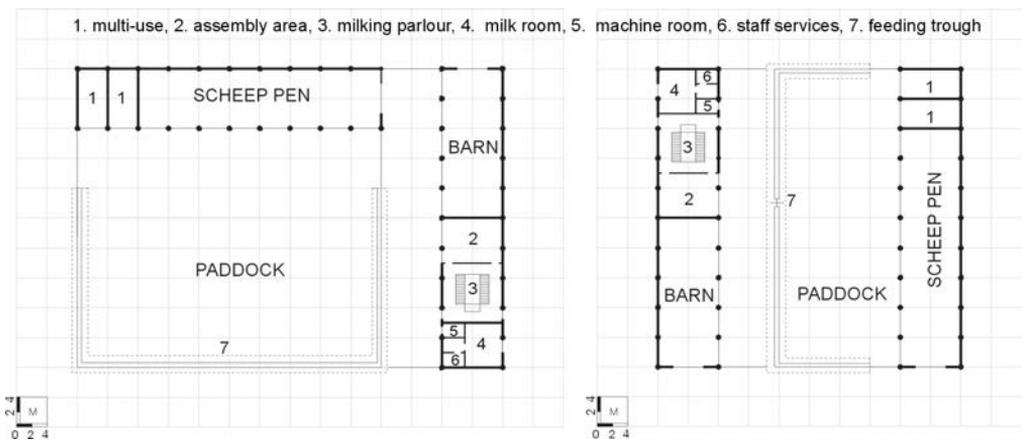


Fig. 2: Minimal types of standardised buildings for protected areas with 200 sheep. The two plans show different configurations of two basic modular units: "L" shape and opposite  
 Typologische „Minimal“-Standard-Einheit für geschützte Gebiete für 200 Stück Vieh. Die drei Schemen nehmen auf unterschiedliche Weise zwei modulare Basis-Einheiten, ausgerichtet: in „L“-Form, auf und gegenübergestellt

In the case of buildings for 200 head of sheep, which can be located in protected areas, the solutions proposed in Figure 2 consist of different combinations of two types of buildings. In the first there are the sheep pens, the breeding area, and the area for the lambs. In the other are the waiting area, the milking parlour and its related areas, and the barn with a multi-use annex.

#### 4 Protected areas and buildings for sheep rearing in Sardinia: Concluding remarks

This paper investigates a typology system adapted to the local Sardinian context.

It is clear that there is a need for "light" plans which are also compatible with those situations where establishing mature and self-sustaining sheep rearing is difficult. For various reasons, including historical ones, in particularly lagging marginal areas, or in protected areas, small scale buildings are most suitable both economically and, above all, in terms of their visual compatibility with the surrounding countryside.

Particular mention should be made of the correct management of protected areas. This has often been mentioned in this paper as in Sardinia it is a relevant objective and is part of the general framework designed to protect the environment and culture of particular environments.

In this context the valid desire to manage, conserve and give added value to the resources of the local ecosystem must not however be so radical as to prevent the development of productive farming activities. Thus the types of buildings suggested are those, which are most sensitive to the needs of the protected environments. The key strong point of these buildings is, in practice the number of sheep that they contain (150/200 head). This is clearly aimed at the production of local typical food products, and harmonising them with the surrounding countryside. Thus the materials adopted are organic, such as wood, brick or cut stone, and the buildings are painted in pastel or terracotta colours, depending on the local traditions in the particular area.

The economic viability of such buildings, if encouraged by government institutions and officials, could without doubt encourage productive resettlement of the parks and reserves, and also stimulate wider diffusion of knowledge about the local products, which at present are often only known about by local residents. This could form part of an integrated marketing strategy for tourism and local resources.

## 5 References

DE MONTIS, S. 1983. Edifici per l'allevamento ovino, Edagricole, Bologna.

DE MONTIS, S. 1996. Renovation and reuse of traditional agricultural buildings as practical objectives within a wider context of land use: rural buildings and landscape. Proceedings of the International Seminar of the second technical section of C.I.G.R. New uses for old rural buildings in the context of landscape planning, Piacenza, 20-21 giugno, vol. 2, 477-485.

DE MONTIS, S. 1997. La pianificazione territoriale ed il recupero degli edifici rurali. Genio rurale n° 1, Edagricole, Bologna.

DE MONTIS, S.; Barra, M. 1997. La Direttiva comunitaria 92/46 e gli edifici di mungitura per ovini in Sardegna. Genio Rurale n° 5, 21-33, Edagricole, Bologna.

## Folienhallen für landwirtschaftliche Betriebsgebäude *Plastic lined halls for farm buildings*

JÜRGEN GARTUNG

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Folienhalle, Textiles Bauwerk, Tragwerk aus Stahlrohren  
**Keywords:** *Plastic lined hall, building with textile, steel frame tubes*

### **Zusammenfassung**

*Im früheren Institut für landwirtschaftliche Bauforschung der FAL wurden bereits seit den 70er Jahren Folienhallen auf ihre Tauglichkeit als Stallgebäude untersucht. Nachdem nunmehr die Akzeptanz der Landwirte bezüglich neuartiger Materialien und Formen für Wirtschaftsgebäude in Deutschland zugenommen hat, wie die Verkaufszahlen der Hersteller in belegen, wurde die Arbeit zur Weiterentwicklung von Stallgebäudesystemen in textiler Bauweise wieder aufgenommen.*

*Erste Ergebnisse zeigen, dass bei Neubauten von Rinder- und Milchkuhställen die Folienhallen im Vergleich mit herkömmlichen Gebäudehüllen nach wie vor die kostengünstigsten Lösungen sind. Je nach Konzeption kann der Investitionsbedarf beim Kostenblock „Stall“ bis zu einem Drittel geringer sein.*

*Bei Leistungsversuchen mit Milchkühen wurden bezüglich Milchleistung und Futtermittelverbrauch keine Unterschiede festgestellt. Das Stallklima ist bei offenen Seitenwänden in Folienhallen vergleichbar mit Außenklimaställen in konventioneller Bauweise.*

### **Summary**

*The former Institute for Farm Building Research of the Federal Agricultural Research Centre (FAL) started with investigations on the usefulness of plastic lined halls for farm buildings already in the 70ies. After nowadays the acceptance of new materials and shapes of buildings by the German farmers has increased, as figures of the producers prove, the research on the improvement of textile farm building systems was restarted.*

*First results show, that new buildings for the keeping of cattle and milking cows made of plastic materials in comparison to common buildings still are the cheaper solutions. According to the concept the investment requirements for the cost block "stable" can become up to one third cheaper, in comparison.*

*Tests concerning the animal output of milking cows regarding the amount of milk and the fodder consumption did not show any differences. The climatic conditions in a plastic lined hall with open side walls can be compared to outdoor climate housing for dairy cattle.*

## 1 Problemstellung

Sinkende Erzeugerpreise für landwirtschaftliche Produkte zwingen auch bei hohen Leistungen zu kostengünstigen Produktionsverfahren. Vor der Entscheidung für langfristige Investitionen in Gebäude und bauliche Anlagen sind Wirtschaftlichkeitsberechnungen von großer Bedeutung. Bei der Auswahl aus mehreren Investitionsmöglichkeiten ist zu entscheiden, welches die vorteilhafteste ist. Im Hinblick auf möglichst geringe Gebäudekosten sind alle Einsparungsmöglichkeiten auszuschöpfen. Dazu zählen insbesondere optimale Konstruktionen und rationelle Bauverfahren. Für die deutschen Betriebe besteht das Problem zusätzlich darin, dass die Baukosten vergleichsweise höher sind als in den Nachbarländern.

## 2 Aufgabenstellung

Neu und Weiterentwicklung von Betriebsgebäudesystemen. Reduzierung der Baukosten auf das notwendige Maß durch Nutzung neuer Baustoffe, Baukonstruktionen und Herstellungsverfahren.

## 3 Methode

Vergleichsdaten von herkömmlichen Betriebsgebäudesystemen hat das Institut schon seit Jahren erarbeitet. Für über 100 Gebäudemodelle stehen Baukostenkennwerte zur Verfügung. Sie wurden nach dem Baukosten-Verbundsystem des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung erarbeitet und aufbereitet. In diesem System werden drei verschiedene Methoden und Gliederungssysteme zusammengeführt.

- Kostenblockmethode für Kostenschätzungen und Vergleiche alternativer Lösungen in der Vorentwurfsphase
- Gebäude-Elementmethode für Kostenschätzungen und Kostenberechnungen in der Entwurfsphase
- Leistungsbeschreibungen und Kostenanschläge in der Ausführungsphase.

Die Baukostendaten werden aus gebauten und abgerechneten Bauvorhaben abgeleitet und nach Kostenblöcken und Gebäudeelementen aufbereitet.

Sowohl die Aufbereitung von Baukostendaten für textile Bauwerke, als auch deren Bewertung und Vergleich mit Kennwerten herkömmlich errichteter Neubauten, erfolgt nach dem Baukosten-Verbund-System.

## 4 Stand der Entwicklung

Gemauerte Gebäude bieten zwar guten Schutz und halten lange, in vielen Fällen erfüllen aber einfachere Bauten den gleichen Zweck und sind wesentlich kostengünstiger herzustellen. Überall dort, wo es nur um Witterungsschutz geht, wie bei Heu- und Strohlagern, Maschinen- und Geräteunterständen aber auch bei Stallanlagen für Rinder und Schafe sind Massivbauten nicht erforderlich. Leichtbauten aus Holz- oder Stahltragwerken mit einfachen Bedachungen und Außenwandbekleidungen haben sich deshalb in den letzten Jahren durchgesetzt.

Das „Textile Bauen“ hat sich anderen Bereichen des Bauwesens als Alternative zu konventionelle Bauwerken mit starren Materialien längst bewährt. Besonders im Sport- und Freizeitbereich (Tribünenüberdachungen, Messebauten) gibt es zahlreiche Beispiele, bei denen Kreativität und Ästhetik mit einem ressourcenschonenden Materialeinsatz, kurzen Bauzeiten, hoher Lebensdauer und niedrigen Kosten verbunden sind (Arbeitskreis Textile Architektur, 2003; RUDORF-WITRIN, 2004).

Auch für landwirtschaftliche Nutzungen liegen langjährige Erfahrungen vor. Zur Überdachung von runden Gülle-Hochbehältern mit Wänden aus Stahl oder Stahlbeton wurden Spezialmaterialien entwickelt. Als Dachmembrane werden sie an einem Mittelmast befestigt und zu den Seitenwänden hin abgespannt. Dadurch werden nicht nur Schnee und Regen abgeführt, sondern auch Ammoniak- und Geruchsemissionen erheblich gemindert.

Im Prinzip könnten die bewährten Hochsilodächer auch für die Überdachung von Stallgebäuden eingesetzt werden. Würde man statt des üblichen Satteldaches über einer rechteckigen Stallfläche eine runde Stallform mit einem zentralen Masten in der Mitte wählen, könnten die in der rauen landwirtschaftlichen Praxis bereits bewährten Membrandächer ohne große Veränderungen sofort eingesetzt werden. Derzeit gibt es verschiedene Ideen, das Prinzip des runden Stalles weiter zu entwickeln (GARTUNG, 2003).

Gerade bei Außenklimaställen wird häufig auf feste Seitenwände verzichtet, weil außenklimanahe Verhältnisse auch im Gebäude angestrebt werden. Stattdessen werden die Seitenflächen aus Windnetzen oder Windschutzplanen aus Kunststoff hergestellt. Kombinationen solcher Wandausführungen ergeben in Verbindung mit Überdachungen aus textilbespannten Stahlrohren sehr einfache Gebäudehüllen. Auch auf dem deutschen Markt werden derartige Konstruktionen jetzt zunehmend angeboten.

## 5 Durchführung der Arbeiten und erste Ergebnisse

Zur Durchführung von Versuchen im Praxismaßstab steht der FAL eine Versuchsstation zur Verfügung. Ein Teil davon ist die Leichtbau-Versuchs- und Vergleichsanlage. Bereits vor über 30 Jahren wurde damit begonnen, Folienhallen auf ihre Tauglichkeit für die Tierhaltung zu untersuchen (Abb. 1). Es zeigte sich, dass Rinder sehr gut in Rundbogenhallen mit Folienbespannung gehalten werden können. Nachdem nunmehr die Akzeptanz der Landwirte bezüglich neuartiger Materialien und Formen für Wirtschaftsgebäude zugenommen hat, wurden die Arbeiten im Institut wieder aufgenommen. Ziel ist es, komplette Stallgebäudesysteme zu erarbeiten und sie insbesondere bezüglich der Baukosten zu untersuchen und mit herkömmlichen Verfahren zu vergleichen.

Leistungsversuche mit Kühen, die im Wechsel in einem konventionellen Stall mit Wärmedämmung und einem ungedämmten Folienstall gehalten wurden, zeigten weder bezüglich der Milchleistung, noch des Futtermittelsverbrauchs besondere Unterschiede. Wahlversuche zwischen diesen Ställen ergaben, dass die Tiere unabhängig von der Lufttemperatur vor allem nach der Behaglichkeit der Liegeflächen auswählen. Auch bei Frost wurden die Liegeboxen im nicht gedämmten Folienstall dem wärmeren Vergleichsstall vorgezogen, wenn ihnen hier bessere Liegematratzen angeboten wurden.

Die Temperaturen in einem Folienstall unterscheiden sich im Winter nicht von denen in anderen nicht gedämmten Ställen. So sind auch hier beheizbare Tränkebecken Voraussetzung für einen reibungslosen Betrieb. Stärker als bei anderen Stallbauten tritt allerdings bei

geschlossenen Hallen Tauwasser, bis hin zum Raureif an der Innenseite der Folie auf. Das bedeutet für das Bauwerk jedoch so lange keinen Nachteil, wie das Wasser frei an der Folie nach unten ablaufen kann.



Abb. 1: Folienhalle als Liegeboxenlaufstall in der FAL-Versuchsstation

Bei hoher Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten kann es vor allem bei dunkler Folie, bei der die Reflexionsfähigkeit schlechter als bei hellem Material ist, zur Aufheizung unter der Folie kommen. Am einfachsten und wirksamsten lässt sich der Temperaturerhöhung und dem Tauwasseranfall mit einer guten Durchlüftung begegnen. Dazu sind offene, oder nur durch Windnetze versehene Flächen in den Längswänden sowie ein Entlüftungsschlitz, am höchsten Punkt des Rundbogens, über die gesamte Stalllänge angeordnet, vorteilhaft (PIOTROWSKI, 1974; ACHILLES und VIEDT, 1976).

Aber auch eine Umgrünung und eine intervallmäßige Wasserbesprühung des Stalls und seiner Umgebung können das Stallklima erheblich verbessern.

Kostenvergleiche zeigen, dass Im Verhältnis zu anderen untersuchten Baulösungen, die Folienhalle für eine Stallanlage die kostengünstigste Gebäudehülle ist. Der Aufbau kann in wenigen Tagen erfolgen. Eigenleistungen sind bei geringer Bauhöhe und der leichten Bauteile problemlos möglich.

In Abbildung 2 ist die Planungsstudie für eine Milchviehanlage dargestellt. Ausgehend von eigenen Erfahrungen über Liegehallen mit zwei Boxenreihen, planbefestigten Laufgängen, Schieberentmischung und Außenfütterung, wurde das System weiterentwickelt. Bei Anordnung des Melkzentrums in einem separaten Gebäude außerhalb des Funktionsbereiches „Stall“, könnte die Anlage auch für wachsende Betriebe interessant sein. Im ersten Bauabschnitt ließen sich 60 oder 120 Kuhplätze schaffen. Später wäre eine Erweiterung auf die doppelte Tierzahl leicht möglich. Auch die nachträgliche Überdachung des Futtertisches könnte ohne Probleme ausgeführt werden.

Die vorgestellte Gebäudeanordnung entspricht nicht nur der früheren Leichtbauanlage der FAL, die sich in dieser Form bewährt hat, sondern wird zunehmend auch bei Neubauten von Milchkuh- und Jungviehställen in herkömmlicher Bauweise aus Kostengründen gewählt.



Abb. 2: Folienställe: Planungsstudie für eine Milchviehanlage mit 2 x 60 Liegeboxen und Schieberentmischung

Die in Abbildung 2 dargestellte Liegeboxen-Laufstallanlage mit mittigem Futtertisch könnte aber auch in konventioneller Bauweise mit Holz- oder Stahlrahmentragwerk und Faserzementplatten auf einem Satteldach hergestellt werden. Der Investitionsbedarf für einen derartigen Standard-Neubau mit 2 x 2 Liegeboxenreihen und Flüssigentmischung durch Güllekanäle unter perforierten Betonböden der Laufflächen, Gülle-Außenbehälter und entsprechender Melktechnik beträgt 4000 Euro/Kuhplatz.

Die dargestellte Lösung mit zwei Folienhallen würde bei äußerst sparsamer Melktechnik nur 3000 Euro/Kuhplatz erfordern. Das Ergebnis ist in Abb. 3 dargestellt. Der Kostenblock „Stall“ ist bei der Folienlösung um ca. 1/3 günstiger. Betrachtet man die Gebäudehülle allein, ohne Berücksichtigung des Stallbodens und der Stalleinrichtung, die ebenfalls zum Kostenblock „Stall“ gehören, ist der Unterschied noch deutlicher.

Da Folienhallen mittlerweile aber auch für sehr viel größere Gebäudebreiten angeboten werden, könnte der oben gezeigte Stallgrundriss auch ganz überdacht werden. Hierfür sind Hallensysteme mit Gitterträgern in Rundbogen- oder Satteldachform als Tragwerk geeignet, bei denen die Längswände senkrecht ausgeführt werden. Die Traufenhöhe beträgt dann wie bei konventionellen Stallbauten 4 bis 5 Meter. Die Seitenwände bleiben im Normalfall offen und können nur bei extremen Witterungsbedingungen durch Jalousien geschlossen werden.

Leichtbauten aus Folien überspannten Stahlrohren erfüllen die Forderungen bezogen auf eine wirtschaftliche Gebäudehülle sehr gut. Das betrifft sowohl den Investitionsbedarf bei Neubauten als auch die Betriebs angepasste Nutzungsdauer.

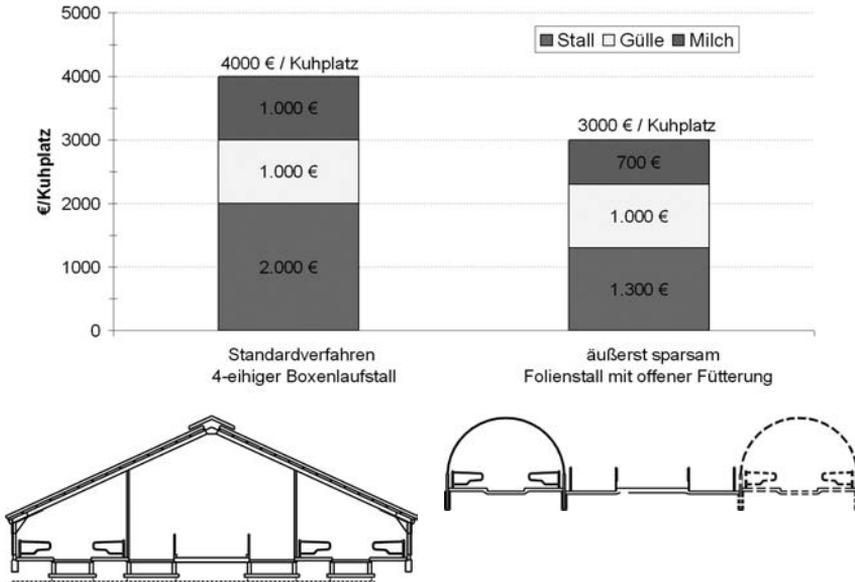


Abb. 3: Investitionsbedarf für Milchviehställe in Euro/Kuhplatz

Folienhallen lassen sich bei veränderten Ansprüchen, beispielsweise an den Betriebsstandort oder die Nutzfläche leicht versetzen, verlängern oder verkürzen. Denkbar ist auch der Wiederverkauf einer nicht mehr benötigten oder nicht mehr ausreichend großen Halle. Auch die Überlegung „leasen statt kaufen“ oder nur über einen bestimmten Zeitraum mieten, wird zukünftig bei betriebswirtschaftlichen Entscheidungen eine Rolle spielen.

## 6 Literatur

ARBEITSKREIS TEXTILE ARCHITEKTUR (HRSG.) (2003): Der Weg zum Textilen Bauwerk. Generalsekretariat Arbeitskreis Textile Architektur, Frankfurt/Main.

RUDOLF-WITRIN, W. (2004): Hightech-Gewebe für das Bauen mit Textilien. Deutsches Architektenblatt H. 8, 53–56.

GARTUNG, J. (2003): Haltung unter Folie. Ställe und Lagerhallen mit Hüllen aus Textilplanen oder Folien. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt H. 47, S. 41–43.

PIOTROWSKI, J. (1974): Folienhallen für Rinder – Erfahrungen aus Völkenrode. In: Kunststoffe in Garten und Landwirtschaft. KTBL, S. 95-106 (Manuskriptdruck).

ACHILLES, S.; VIEDT, W. (1976): Kostengünstige Rindviehställe. 6. Folge: Boxenlaufstall aus Folienhallen – Inneneinrichtung, Versuchsergebnisse, Rechtsfragen. DLG-Mitteilungen 91 H. 15, S. 883 H. 47, S. 41–43.

## Interreg-III-A-Projekt Landwirtschaftliche Bauten und Landschaft *Interreg III A project on agricultural building and landscape*

ANTJE HEINRICH

Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

**Schlüsselwörter:** Landwirtschaftliche Bauten, Landschaft, Raumplanung, Gestaltung  
**Keywords:** *Agricultural buildings, landscape, spatial planning, design*

### **Zusammenfassung**

*Landwirtschaftliche Bauten gestalten und beeinflussen unsere Umwelt. Dies ist insbesondere bei Standorten ausserhalb von Siedlungen in der freien Landschaft der Fall. Hier wirken die landwirtschaftlichen Bauten in einem hohen Mass auf das Landschaftsbild ein.*

*Um dem Wunsch nach Kostensenkung gerecht zu werden, hat sich die Bauweise in der Landwirtschaft verändert. Untypische Materialien und Farben finden ihre Verwendung, auf den Rat eines qualifizierten Planers wird zum Teil ganz verzichtet. Dies führt dazu, dass sich die Bauten mitunter nur schwierig in die Landschaft einpassen lassen.*

*Mit dem Projekt BAULA sollen die veränderten Rahmenbedingungen aufgezeigt und Grundthesen für die gestalterische Einordnung von landwirtschaftlichen Bauten in der Landschaft formuliert werden. Anhand der gebauten Beispielen werden die gestalterischen Forderungen formuliert.*

### **Summary**

*Agricultural buildings form and influence our environment, in particular in open country, away from built-up areas. Here agricultural buildings have a major impact on the landscape.*

*The general trend to cut costs has brought about a change in the construction technique of agricultural buildings. Atypical materials and colours are used, in some cases a qualified planner is not consulted. As a result, the buildings are sometimes difficult to integrate into the landscape.*

*The BAULA project has been designed to highlight the changed framework conditions and formulate fundamental principles for the integration of agricultural buildings into the countryside. The design requirements are formulated on the basis of examples built.*

## 1 Problemstellung

Landwirtschaftliche Bauten ausserhalb der Bauzone bzw. in der Landwirtschaftszone sind Bestandteil der Landschaft. Durch ihr Vorhandensein beeinflussen sie die Landschaft und prägen das Landschaftsbild. Ältere Bauten tragen als Zeugnis vergangener Lebens- und Bauformen zur Bildung der Kulturlandschaft bei. An ihnen sind die bautechnischen Möglichkeiten ihrer Entstehungszeit abzulesen. In der Wahl von Baumaterialien beschränkte man sich aufgrund hoher Transportkosten auf das, was am Ort vorzufinden war: Holz und Stein. Die Bauten wurden mit und nicht gegen die Natur erstellt.

Das Bauen im ländlichen Raum hat sich in den letzten Jahren einem Wandel unterzogen. Die Bauten der heutigen Zeit werden oftmals ohne besondere Rücksicht auf ihre Umgebung erstellt, was der Betrachter als störend empfinden kann (Abb. 1). Es ist zu erwarten, dass sich dieser Konflikt in Zukunft noch verstärkt: Der Kostendruck beim Bauen wächst, die Gebäudekörper werden infolge des Strukturwandels voluminöser und der Anspruch der Gesellschaft an eine gepflegte Landschaft steigt.

Das Bauen in der Landschaft hängt von verschiedenen Einflüssen ab, Interessen unterschiedlicher Akteure wirken auf das Bauvorhaben ein. Die Anliegen der rechtlichen Seite, der Betriebswirtschaft und der Ästhetik sind in Einklang zu bringen.

Mit dem Projekt BAULA werden Überlegungen angestellt, wie auf die Einordnung und Gestaltung von Ökonomiebauten in der Landschaft positiv eingewirkt werden kann.

Das Projekt wird im Rahmen des Interreg-III-A-Programmes gefördert. Beteiligt sind der Kanton Zürich mit dem Amt für Raumordnung und Vermessung, das Regierungspräsidium Tübingen, die Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft und die Landwirtschaftskammer Vorarlberg. Die Projektkoordination obliegt der agroscope FAT Tänikon in der Schweiz.



Abb. 1: Tonnenbau als Ökonomiegebäude  
*Barrel-vaulted roof structure as agricultural building*

## 2 Heutiges Bauverhalten

Die Bauaufgaben heutiger Zeit müssen andere Anforderungen erfüllen als im letzten Jahrhundert. Unter anderen sind dies rechtliche Belange im Rahmen der Raumplanung und

des Umweltrechtes, neue funktionellen Bedürfnisse der modernen Landwirtschaft und die begrenzten finanziellen Möglichkeiten.

Bei Bauvorhaben ausserhalb der Bauzone bzw. in der Landwirtschaftszone sind die Forderungen der Raumplanung nach einer guten Einordnung von Siedlungen, Bauten und Anlagen in der Landschaft zu berücksichtigen. Wie nach den Vorstellungen der Gesetzesgeber die befriedigende Gesamtwirkung hergestellt werden kann, wurde in den Gesetzestexten nicht ausformuliert. So fusst die ästhetische Beurteilung der Bauvorhaben nicht auf allgemein gültigen und nachvollziehbaren Kriterien. Es liegt im Ermessensspielraum der bewilligenden Behörde, ob sie durch Auflagen hinsichtlich Materialwahl, Dimension und Standort auf die Vorhaben in der Landschaft einwirken möchte.

Da das für einen Neubau zur Verfügung stehende Budget des Landwirts geringer geworden ist, versucht dieser alle Möglichkeiten zur Kosteneinsparung auszunutzen. Dies äussert sich unter anderem in der Wahl günstigerer Baumaterialien und dem Verzicht auf einen qualifizierten Planer. Vor allem letzteres hat weitreichende Konsequenzen. Es besteht die Gefahr, dass die Frage nach der Gestaltung und Einpassung der Bauten in die Landschaft gar nicht oder nicht mit hinreichender Sorgfalt behandelt wird. Es werden landschaftsuntypische Bleche und Farben verwendet, die Baukörper treten selten in Beziehung zu einander, Stilmerkmale der Umgebung werden nicht aufgegriffen. Dieser Umgang mit Bauten lässt sie als Fremdkörper in der Landschaft wirken (Abb. 2). Bei der Wahl der Materialien wird oft übersehen, dass nicht nur die Anschaffungskosten ins Gewicht fallen, sondern die Instandhaltung und Erneuerung in eine Rentabilitätsrechnung mit einzubeziehen sind. Längerfristig kann eine zu wenig umfassend durchdachte Planung sogar zu Mehrkosten führen, zum Beispiel infolge unbefriedigender interner Abläufe und der daraus resultierenden täglichen Mehrarbeit.



Abb. 2: Die Baukörper des Hofes sind unterschiedlich ausformuliert und mit verschiedenen Materialien und Farben versehen. Das Futterlager in Form von Siloballen ist nicht in der Hofanlage integriert  
*The various building elements are formulated differently and made of different materials and colours.  
 The forage store in form of silage bales is not integrated in the farm*

### 3 Einordnung in die Landschaft

Bauen in der Landschaft ist ein schwieriges Vorhaben, bei dem viele Ansprüche untereinander abgewogen und abgestimmt werden müssen.

Für eine Vielzahl von Landschaften des Projektgebietes gilt, dass sie sich durch eine ökologische Vielfalt, einzigartige Formationen und Kulturlandschaft auszeichnen. Sie decken das Spektrum vom gut bewirtschafteten Flachland bis zur unwirtlichen Hochgebirgsregion ab.

Die Nutzung der Landschaften ist vielseitig, sie dienen dem Lebenserwerb, der Erholung, der Entspannung, den sportlichen Aktivitäten und mehr. Dabei wünscht sich jeder Nutzer, dass die von ihm besuchte Landschaft möglichst seinen Ansprüchen gerecht wird. Dies fordert einen behutsamen Umgang, da zerstörte Landschaften nur unter hohem Aufwand wieder herzustellen sind.

Es ist zu bedenken, dass der Landwirt durch den Kauf eines Grundstückes zwar das Nutzungsrecht an diesem Boden erwirbt, sein Privileg zum Bauen ausserhalb der Bauzone bzw. in der Freifläche auch eine Verantwortung für eine Landschaft beinhaltet. Den Landwirten ist zu veranschaulichen, dass die Auswirkungen und Beeinträchtigungen baulicher Veränderungen auf ihrem Boden über die Grundstücksgrenze hinaus wirken. Das eigene Grundstück ist als Teil eines Ganzen und nicht isoliert zu betrachten. Es ist in seine Umgebung eingebettet.

#### 4 Grundthesen für die gestalterische Einordnung

Die Forderung nach guter Einordnung lässt sich schwer in Paragraphen fassen. Einheitliche Bestimmungen können der landschaftlichen Vielfalt und den jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen kaum gerecht werden.

Probleme treten zum Beispiel auf, wenn ein bestimmtes Material kategorisch und standardmässig für alle Aussenfassaden gefordert wird, dieses aber im besonderen Einzelfall an schon bestehenden Gebäuden keine Verwendung fand.

Im Folgenden sollen deshalb einige relativ allgemeine Grundthesen für eine bessere Einpassung von Bauvorhaben in ihre Umgebung aufgestellt werden:

- Grundvoraussetzung zur Findung der richtigen Einordnung ist die Auseinandersetzung mit dem betroffenen Ort und den Gegebenheiten, wie sie vorzufinden sind. Wird ein neues Gebäude in eine Landschaft eingefügt, ist seine Dimension dem Massstab der Landschaft anzupassen. In kleinstrukturierte Regionen passen sich kleinere Gebäude besser ein, grosse Gebäude stören die Massstäblichkeit am Ort. In grosszügigen Gebieten können auch grosse Volumen gut eingefügt werden.
- Bei der Standortwahl ist raumbildender Bewuchs gegenüber einer Freifläche vorzuziehen. Der vorhandene Geländeverlauf soll durch die zusätzlichen Baukörper aufgenommen und verstärkt werden. Die Schaffung eines neuen Geländeverlaufs durch freies Platzieren eines Gebäudes bedeutet einen erheblichen Eingriff in das ursprüngliche Landschaftsbild und ist daher zu vermeiden. Der Geländeverlauf kann sich in der Dachform wiederfinden. An einem Standort mit Bergen im Hintergrund passen sich Satteldächer gut ein. In offenen Landschaften ist ein Flachdach ein geeignetes Mittel, um die Offenheit und den flachen Horizont nochmals zu betonen.
- Wird ein Gebäude in einer bestehenden Gebäudegruppe erstellt, sind die Gestaltungs- und Stilmerkmale des Bestandes aufzunehmen und umzusetzen. Die Gebäude untereinander sollen in einer Beziehung zueinander angeordnet werden. Der Schaffung sinnvoller Zwischenräume ist Beachtung zu schenken. Die Gebäudeform und -proportion hat sich den vorhandenen Gebäuden anzupassen, ebenso ist ihre Ausrichtung den

ortsüblichen Gepflogenheiten anzugleichen. Hierunter fallen ebenso die Dachform, Oberflächen, Farben und Materialien.

Werden diesen Vorschlägen Beachtung geschenkt, sollten Missgriffe weitgehend vermieden werden können. Die beschriebenen Vorschläge lassen Spielraum für Kreativität bei gleichzeitiger Sensibilisierung auf die Landschaft.

## 5 Arbeiten mit Beispielen

Um den Landwirten zu veranschaulichen, was landschaftsverträgliches Bauen ist, sind die Vorschläge anhand gebauter Beispiele in den Regionen zu erläutern. Eine Beispielsammlung soll vorbildhafte Lösungen aufzeigen, wie die schwierige Aufgabe der Einbettung in der Landschaft bewältigt werden kann. Diese Beispiele werden hinsichtlich verschiedener Merkmale und Besonderheiten ausgewählt. Ohne die arbeitstechnischen Abläufe zu übergehen, liegt das Hauptaugenmerk bei der Auswahl im Umgang mit der Landschaft, d. h. die Art und Weise, wie ein Bezug zu ihr hergestellt wurde.



Abb. 3: Neue Ökonomiegebäude in Cons, Strassenansicht und Rückansicht, GR. Das notwendige Raumvolumen wurde auf zwei Gebäude aufgeteilt. Die neuen Gebäude passen sich mit ihrer Dimension an die der bestehenden Gebäude an

New rural buildings in Cons, Canton of Grisons, street view and back view. The required building volume is realised in two buildings. The dimensions of the new buildings are adapted to the size of the existing buildings

In Abbildung 3 sind zwei neue Ökonomiebauten zu sehen, die sich in das Orts- und Landschaftsbild einpassen. Ihre Firstrichtung verläuft wie bei den bestehenden Gebäude senkrecht zum Hang. Die Gebäudevolumetrie weist ähnliche Proportionen auf wie der Bestand. Als Dachform wurde das ortsübliche flachgeneigte Satteldach verwendet, die Fassade ist mit Holz verschalt. Dennoch unterscheiden sich die neuen von den alten Gebäuden. Die liegende Holzverschalung besteht aus schräg aufeinander gestellten Holzlatten. Die Tragstruktur zeichnet sich an der Aussenfassade ab, Baumstämme übernehmen die Funktion der Stützen.

Auf den ersten Blick treten die Gebäude nicht in den Vordergrund. Bei näherem Betrachten werden die feinen Unterschiede sichtbar und lassen die Gebäude als eigenständige Architektur nahe dem Altbestand wirken.

Abbildung 4 zeigt einen neuen Stall, der durch eine geschickte Wahl der Dachform und -neigung zurückhaltend wirkt. Die Bäume im Hintergrund überragen das Gebäude und lassen es kleiner erscheinen.



Abb. 4: Neuer Hof in Leimbach, ZH. Trotz der grossen Gebäudekubatur fügt sich der Stall gut in die Landschaft ein  
*New farm in Leimbach, Canton of Zurich. Despite its large cubature, the stable is well integrated into the landscape*

Mitunter sind es entwerfliche Kleinigkeiten, die für eine gute oder schlechte Einpassung der landwirtschaftlichen Gebäude sorgen. Da die Auswirkungen aber erheblich sein können, ist der sorgfältige Umgang mit der Landschaft unabdingbar. Diesem wird im ersten Schritt durch die Landwirte und die Planungsbeteiligten mit der Auseinandersetzung der Vorschläge Rechnung getragen.

Für ein reibungsloses Gelingen des Bauvorhabens empfiehlt sich seitens der Bauherrschaft ein frühzeitiges Involvieren der bewilligenden Behörden in den Planungsablauf, da Auflagen in der Baugenehmigung mit höheren Kosten verbunden sein können. Der Beizug eines qualifizierten Planers ist in vielerlei Hinsicht vorteilhaft: In der Planungsphase ist es sinnvoll, eine Erweiterung des Gebäudes bei der Auswahl des statischen Systems und der Baumaterialien in die Überlegungen mit einzubeziehen. Veränderungen in den Tierhaltungsrichtlinien erfordern mitunter Umbaumassnahmen, die das Gebäude ermöglichen sollte.

Zudem werden die vom Landwirt veranschlagten Eigenleistungen zur Reduzierung der Baukosten fachlich beurteilt. Der Landwirt kann sich während der Bauphase bei der Ausführung seiner Eigenleistungen beraten lassen. Auch ermöglicht der Planer dem Landwirt die Konzentration auf seine eigentliche Arbeit, da er die Koordination der Baubeteiligten übernimmt.

## 6 Literatur

- GUERIN, S. (2003): *Batiments agricoles et paysage – etude d’une grille de methodologie*. Chambre d’agriculture Calvados, Caen.
- GSCHWEND, M. (1988): *Bauernhäuser der Schweiz*. Schweizer Baudokumentation, Blauen.
- HALLER, W.; KARLEN, P. (1999): *Raumplanungs-, Bau- und Umweltrecht*. Schulthess-Verlag, Zürich.
- HEIDEMANN, C. (2002): *Methodologie der Regionalplanung*. Institut für Regionalwissenschaft der Universität Karlsruhe.

**Bayerisches Verbundprojekt für artgerechte, umweltverträgliche und wettbewerbsfähige Tierhaltungsverfahren**  
***Bavarian cooperative project for adequate, environmentally compatible and competitive animal husbandry***

**BERNHARD HAIDN, JOCHEN SIMON, STEFAN NESER**

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** Tierhaltung, Tierschutz, Bauwesen, Umweltschutz, Betriebswirtschaft, Arbeitsbelastung  
**Keywords:** *Animal husbandry, animal welfare, architecture, environmental protection, economics, workload*

### **Zusammenfassung**

*In einem Verbundprojekt werden 34 „Pilotbetriebe für beispielhafte, artgerechte Tierhaltung in Bayern“ wissenschaftlich begleitet. Alle Betriebe werden ausführlich dokumentiert. Erfasst werden betriebliche Rahmenbedingungen, gesamte Stallgebäude, Haltungssysteme und -verfahren sowie Arbeits- und Betriebswirtschaft.*

*In einem zweiten Schwerpunkt werden spezielle Fragestellungen zu Tierhaltung und Tierschutz, zu den Belastungen für Arbeitspersonen durch die Stallluft und zu Emissionen und Immissionen behandelt.*

### **Summary**

*In a cooperative project 34 „Bavarian pilot farms for exemplary and adequate animal husbandry“ are researched. All farms are documented concerning operational basic conditions, architecture, housing systems, working conditions and economics.*

*Also attention is given to special questions like animal husbandry and animal welfare, burdens for agricultural workers caused by stable air and environmental impacts.*

## 1 Einleitung und Zielsetzung

In Bayern entfallen 72 % der Verkaufserlöse auf die tierische Produktion und in 77 % aller Betriebe sind Tiere auf den Betrieben anzutreffen. Die Tierhaltung ist damit wesentliches Rückgrat der bäuerlichen Landwirtschaft. Sie ist auch Basis eines bedeutenden Verarbeitungsgewerbes in Bayern und nicht zuletzt unentbehrlich für die Erhaltung der Kulturlandschaft.

Mit der Neuorganisation der bayerischen Agrarforschung in den Instituten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ist ein Instrumentarium gegeben, aktuelle Haltungssysteme trotz ihrer Komplexität hinsichtlich vieler Einflussparameter zu untersuchen, Anforderungen zu definieren und wesentliche Erkenntnisse für eine artgerechte Tierhaltung abzuleiten. Dies soll in dem vom bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten finanzierten Verbundprojekt zur artgerechten, umweltverträglichen und wettbewerbsfähigen Tierhaltungsverfahren in den Jahren 2003 bis 2005 umgesetzt werden. Im Rahmen dieses Verbundprojektes nimmt das Teilprojekt D die „wissenschaftliche Betreuung der bayerischen Pilotvorhaben für artgerechte Tierhaltung“ den größten Raum ein. Dieses Projekt soll im Folgenden näher vorgestellt werden.

## 2 Projektübersicht

### 2.1 Projektteilnehmer

An dem Forschungsvorhaben nehmen folgende Institute der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft teil:

- Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik (ILT) – Koordination
- Institut für Tierhaltung und Tierschutz (ITH)
- Institut für ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (ILB)
- Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ILE)

In das Projekt ist ebenfalls der Lehrstuhl für Planen und Bauen im Ländlichen Raum der TU-München integriert.

### 2.2 Betriebe

In einer öffentlichen Ausschreibung wurden Betriebe aufgefordert, am Programm „Pilotbetriebe für beispielhafte artgerechte Tierhaltung“ teilzunehmen. Folgende Kriterien waren bei der Auswahl maßgeblich:

- Stellungnahmen der Landwirtschaftsämter und Bauberater:
  - Eignung des Betriebes hinsichtlich artgerechter Tierhaltung, bauliche Gestaltung, Entwicklungsmöglichkeiten (baufachliche Stellungnahme zur artgerechten Tierhaltung)
  - Eignung des Betriebsleiters hinsichtlich Durchführung und Präsentation des Pilotvorhabens
  - Allgemeiner Betriebszustand zum Zeitpunkt der Antragstellung
  - Wirtschaftlichkeit der geplanten Maßnahme

- Berücksichtigung bautechnischer Kriterien (z. B. Verwendung besonderer Materialien und Bauweisen (Gründach))
- Überzeugendes Gesamtkonzept für den Betrieb und das Stallgebäude
- Zuordnung des Betriebes hinsichtlich Tierart und Region

Von einem Fachbeirat wurden insgesamt 36 Betriebe als „Pilotbetriebe für beispielhafte artgerechte Tierhaltung“ ausgewählt. Zwei Betriebe haben ihre Teilnahme wieder zurückgezogen. Von den verbleibenden 34 Betrieben entfallen 18 auf den Bereich der Milchvieh-/Rinderhaltung, 12 auf die Schweinehaltung und 4 auf die Geflügelhaltung. Mit 12 Betrieben wirtschaftet ein Drittel nach den Kriterien des ökologischen Landbaus. Die räumliche Verteilung der Betriebe in Bayern und die Zuordnung nach Regierungsbezirken ist in Abb. 1 dargestellt.

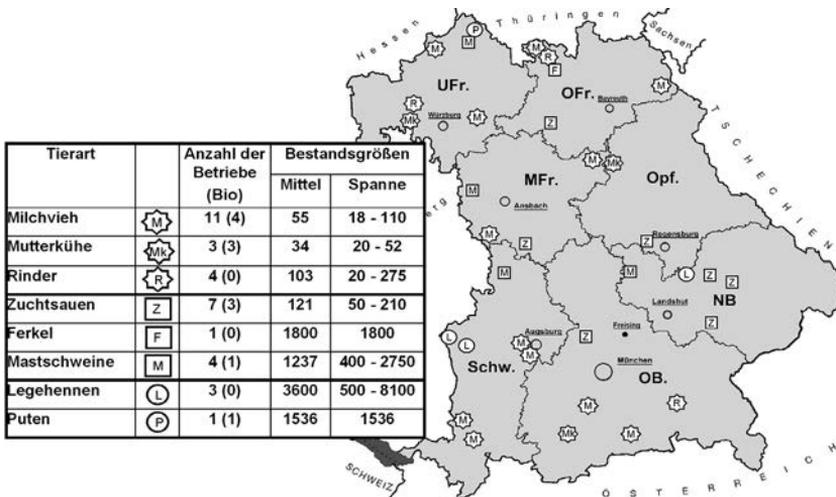


Abb. 1: Verteilung der Pilotbetriebe nach Lage und Tierarten  
*Spreading of the pilot farms with regional and species variations*

### 3 Teilprojekte

#### 3.1 Dokumentation der Pilotbetriebe

Ziel der Dokumentation ist die Grunddatenerhebung zur Beschreibung der betrieblichen Rahmenbedingungen sowie die zeichnerische Dokumentation und Analyse der realisierten Bauvorhaben. Diese Daten dienen der Information für die Landwirtschaftsämter und die Bauberatung, als Datenpool für die Öffentlichkeitsarbeit und als Rahmen für die einzelnen Forschungsschwerpunkte innerhalb des Projektes. Die institutsübergreifende Bearbeitung des Dokumentationsteils erfolgt durch die Verwendung eines gemeinsamen Desktop-Publishing-Programms. Nachfolgende Themen werden für alle Pilotbetriebe in der Dokumentation behandelt.

**Betriebliche Rahmenbedingungen** (bearbeitet vom ILT)

Neben der Standortbeschreibung und der Faktorausstattung werden Entscheidungsgründe und Erweiterungsmöglichkeiten dargelegt.

**Gebäudezuordnung und -beziehungen** (bearbeitet von TUM)

Ausgewählte Betriebe werden unter städtebaulichen, konstruktiven und funktionalen Gesichtspunkten betrachtet. Gegenstand der Analysen sind neben Grundriss und Lageplan die Flächennutzung, Bauphasen, Gebäudequerschnitte, Außenanlagen sowie die Beziehungen zwischen den Gebäuden (z. B. Verkehrsströme).

**Stallgebäudeausführung** (bearbeitet vom ILT)

Die Standarddokumentation in allen Betrieben beinhaltet die Erstellung von Grundriss und Schnittzeichnungen im Maßstab 1/100 und 1/500, die Darstellung des Stallkonzeptes mit der Gebäudekonstruktion sowie eine ausführliche Dokumentation in Bildern. Darüber hinaus werden von 10 Betrieben alle Gebäudeelemente (Tragwerk, Bodenplatte, Wände, Decke usw.) beschrieben sowie zwei- und dreidimensionale Ansichten erstellt.

**Haltungsverfahren und dessen Tiergerechtigkeit** (bearbeitet vom ILT und ITH)

Tierumtrieb, Management und Funktionsbereiche und Funktionsabläufe werden in Beschreibungen, Zeichnungen und Bildern dargestellt. Die Funktionsbereiche Laufen, Fressen, Liegen werden zweimal (Winter und Sommer) hinsichtlich der Tiergerechtigkeit bewertet. Dabei kommen speziell entwickelte Bewertungsbögen zum Einsatz, die sich an bereits bekannten TGI-Bewertungen und Checklisten orientieren. Die Funktionsbereiche werden mit + (positive Beurteilung), ± (Änderungen werden empfohlen) und – (Änderungen sind dringend erforderlich) bewertet. Zusätzlich wird ein Teil der Herde einer genauen Beurteilung des Integuments hinsichtlich Verletzungen und Verschmutzungen unterzogen.

**Arbeitswirtschaft** (bearbeitet vom ILT)

Arbeitszeiterhebungen finden in allen Betrieben durch Aufzeichnungen der Landwirte in Arbeitszeittagebüchern statt. Darin wird das gesamte Produktionsverfahren erfasst. (z. B. für die Milchviehhaltung in 8 Arbeitsvorgängen und 38 Arbeitsteilvorgängen). Täglich sind vom Landwirt über mehrere Durchgänge bzw. Jahreszeiten die aufgewendeten Arbeitszeiten in das bereitgestellte Formular einzutragen.

Ausführliche Messungen der Arbeitsbedingungen werden in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft in 13 ausgewählten Betrieben durchgeführt. Dabei werden neben den Temperaturen und Schadgaskonzentrationen der Staub-, Endotoxin- und Keimgehalt der Stallluft bestimmt. (Siehe Beitrag von SCHNEIDER et al. in diesem Tagungsband).

**Betriebswirtschaft** (bearbeitet vom ILB)

Bei allen Pilotbetrieben werden die notwendigen Daten zur Erstellung der Betriebszweigabrechnung einschließlich dazugehöriger natürlicher Ergänzungsdaten erhoben. Dabei wird auf folgende Datenquellen zurückgegriffen: Daten aus der Buchführung und dem Jahresabschluss, Tierbestände (HIT-Daten), Ergebnisse der Leistungsprüfung (LKV-Daten), produktionstechnische Aufzeichnungen (Herdenplaner), Ein- und Verkaufsabrechnungen sowie ergänzende Angaben des Betriebsleiters. Diese detaillierte Erfassung der Leistungen und Kosten erfolgt in

den Pilotbetrieben erstmals für die Periode (Wirtschaftsjahr), in der die Stallanlage ganzjährig genutzt wurde.

### 3.2 Ausgewählte Forschungsschwerpunkte

In ausgewählten Betrieben werden spezielle Fragestellungen untersucht.

#### **Untersuchungen zur Liegeflächengestaltung bei Fressern und Mastbullen** (bearbeitet vom ITH)

In einem Mastbullenbetrieb werden Tiere in Abteilen mit und ohne Gummiauflage der Liegeflächen hinsichtlich Aktivität und Lahmheiten verglichen. Das Verhalten wird mittels Videotechnik, Pedometer und Ganganalysen bestimmt.

#### **Untersuchungen zur Beleuchtungsdauer und Beleuchtungsintensität bei Milchkühen** (bearbeitet vom ITH)

In Milchviehställen wird die Verteilung der Beleuchtungsintensität und -dauer im Stall gemessen, um daraus deren Einfluss auf das Verhalten der Tiere (Lauf-, Steh- Liegeaktivität und -position werden über spezielle Pedometer erfasst) zu bestimmen. Als Beleuchtungskörper dienen Quecksilber-Hochdrucklampen. Messungen werden an 12 Stellen im Stall durchgeführt. Neben den Varianten von Langtag (im Sommer) und Kurztag (im Winter), wird die Beleuchtungsintensität in 4 Stufen (5, 20, 40, 160 Lux) verändert.

#### **Tier: Fressplatz-Verhältnis bei Mastschweinen in Kleingruppen im Außenklimastall und Flüssigfütterung am Kurztrug mit Sensor** (bearbeitet vom ITH)

Ziel dieser Untersuchung ist es, das optimale Tier:Fressplatz-Verhältnis bei Flüssigfütterung von Mastschweinen an einem Kurztrug mit Sensor unter den Bedingungen einer Kleingruppe (12 Tiere/Bucht) im Außenklimastall (Typ „Pig Port I“) zu ermitteln. Als Kriterien werden Mast- und Schlachtleistungen sowie das Futteraufnahme- und Sozialverhalten herangezogen. Es sollen auch die Auswirkungen unterschiedlicher Troglängen auf die Trog- und Buchtenhygiene ermittelt werden.

#### **Zuluftkühlung in Schweineställen durch den Einsatz Wasser durchflossener Wärmeleitprofile** (bearbeitet vom ITH)

In diesem Versuch soll die Wirkung von Wasser durchflossenen Wärmeleitprofilen zur Kühlung der Stalllufttemperatur in einem Schweinebestand bestimmt werden.

Die Wärmeleitprofile befinden sich im Zentralgang, in ca. 2,50 m Höhe. Die Zuluft tritt über eine an der Nordseite, oberhalb der Wärmeleitprofile gelegene Öffnung direkt in den Zentralgang ein und gelangt unterhalb der Wärmeleitprofile über Öffnungen in die Porenkanäle der einzelnen Abteile. Als Kriterien werden die Kühlleistung des Systems sowie Temperatur und relative Luftfeuchte von Stall- und Zuluft erhoben.

#### **Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Rinder- und Schweineställe** (bearbeitet vom ILT)

Mit Hilfe von Kennwerten zur Liegeboxenbelegung, des Stallklimas (Temperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung) und meteorologischer Daten sollen sinnvolle Anhaltswerte zur Steuerung von

Wandverschlusssystemen und Unterstützungslüftungen gefunden werden. Das Liegeverhalten wird über ein System mit Ultraschallsensoren automatisiert aufgezeichnet. Luftbewegung und Temperaturen werden an 15 Stellen im Stall erfasst (siehe Beitrag von GUTERMANN et. al. in diesem Tagungsband).

### **Bewertung von Laufflächen für Rinder** (bearbeitet vom ILT)

Im Vordergrund dieses Teilprojektes steht die Bestimmung der Materialeigenschaften von Laufflächen (Trittsicherheit und Rutschfestigkeit, Ebenheit, Oberflächenrelief). Diese Kenngrößen werden mit einem gezogenen Gerät zur Gleitreibungsmessung sowie einem für diese Aufgabe angepassten 3D-Laserscanner ermittelt. Ferner wird gemeinsam mit dem Landeskuratorium für Veredlung (LKV) die Bedeutung verschiedener Laufflächen in den bayerischen Milchviehlaufställen ermittelt. Hierzu findet eine Fragebogenerhebung in über 6000 Betrieben statt. Neben Ergebnissen zu den Laufflächen sollen auch Informationen über Art und Häufigkeit der Klauenpflege und zu den Kosten der Klauengesundheit gefunden werden.

### **Bewertung der Emissionen und Immissionen** (bearbeitet vom ILT)

Ziel des Vorhabens ist eine umfassende und belastbare Quantifizierung der Emissionen von Ammoniak, Methan, Lachgas, Kohlendioxid, Geruch und Staub sowie die Quantifizierung der Immissionen von Ammoniak, Geruch und Staub (PM10) für unterschiedliche Tierarten und Haltungssysteme.

Intensive Langzeitmesskampagnen werden an je einem Rindermast-, zwei Milchvieh- und einem Schweinemastbetrieb durchgeführt. Für die Emissionsmessungen der Gaskonzentrationen kommt ein Multi-Gasanalysegerät mit photoakustischem Messprinzip zum Einsatz. Geruchsstoffkonzentrationen werden durch dynamische Olfaktometrie quantifiziert. Die Staubkonzentrationen in den Ställen werden mit einem Staubsammel- und -messgerät für drei Partikelmassenfraktionen bestimmt. Für die Berechnung der Emissionsraten werden Volumenströme abgeschätzt, das Stallklima sowie begleitend meteorologische Parameter wie Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung und Niederschlag erfasst. Die Datensätze der Emissions- und Immissionsmessungen sollen zur Weiterverarbeitung und Validierung als Eingangsparameter in unterschiedliche Modelle einfließen.

# Großgruppenhaltung in der Schweinemast – Untersuchungen zur Tiergerechtheit und zum Umweltschutz

## *Keeping of fattening pigs in large groups – investigation regarding animal welfare and environmental protection*

HANS-JOACHIM MÜLLER<sup>1</sup>, FRITZ-WILHELM VENZLAFF<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Agrartechnik Bornim, Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam

<sup>2</sup> Landesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft, Dorfstraße 1, OT Ruhlsdorf, D-14513 Teltow

**Schlüsselwörter:** Schweinemast, Tiergerechtheit, Ammoniakemission

**Keywords:** *Fattening pigs, animal welfare, ammonia emission*

### **Zusammenfassung**

*In den vergangenen Jahren sind sowohl in Deutschland als auch international die Fragen des Tierschutzes und des Umweltschutzes immer mehr in das öffentliche Interesse gerückt. Nicht zuletzt dadurch sind neue gesetzliche Regelungen auf den Gebieten Tier und Umwelt entstanden. Dies erfordert die Weiterentwicklung von Haltungssystemen, Stallgebäuden und Lüftungssystemen.*

*In einer Versuchsstation wurden zwei unterschiedliche Stallabteile untersucht. Der Unterschied zwischen beiden Räumen bestand in der Gruppengröße der Mastschweine. Tierparameter wie die Tiermasse wurden registriert und der Ammoniak-Emissionsstrom wurde gemessen. In beiden Messperioden (Herbst 2003 und Sommer 2004) waren die Ammoniakemissionen in der Großgruppe etwas höher als in der Normalgruppe. In Bezug auf Tiergesundheit und Tierleistung existiert nur ein geringer nichtsignifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.*

### **Summary**

*In the last years not only in Germany but also international the questions of animal welfare and environmental protection are more and more moved into the public interest. Not least thereby new legal regulations are established on the fields of animal husbandry and environmental. As a result further development of keeping systems, livestock buildings and ventilation systems is needed.*

*In a test station two rooms for fattening pigs were investigated. The difference between the two rooms was the size of the groups of fattening pigs. The animal parameters like animal mass were registered and the ammonia emission stream was measured. In both measuring periods (autumn 2003 an summer 2004) the ammonia emission rates was a little higher in the large group than in the normal group. Regarding animal health and performance exist a nonsignificant small difference.*

## 1 Einleitung

In unserer Gesellschaft ist ein wachsendes Interesse an den Produktionsmethoden für die Erzeugung von Lebensmitteln zu verzeichnen. Die Fragen der Bevölkerung sind gerichtet auf die Gebiete der Tiergesundheit und der Haltungsbedingungen, der Produktqualität sowie der Beeinflussung der Umwelt durch die Tierhaltung. Die damit im Zusammenhang stehenden neuen gesetzlichen Regelungen erfordern die Untersuchung und Entwicklung tiergerechter und umweltverträglicher Haltungssysteme. In diesem Zusammenhang geht die Entwicklung der einstreulosen Mastschweinehaltung von der Kleingruppe mit 10–15 Tieren tendenziell hin zur Großgruppe von 35–60 Tieren. Dabei wird bei dieser Haltung vor allem eine Verbesserung der Tiergerechtheit durch eine klarere Strukturierung der Großbucht durch die Tiere angestrebt. Zum einen soll die größere Gesamtläche pro Bucht so den Tieren verbesserte Aktivitäts- und Ruhemöglichkeiten schaffen, andererseits den Anteil der verschmutzten Buchtenzonen im Vergleich zur Kleingruppe einschränken. Gleichzeitig stellt sich damit die Frage nach den dabei auftretenden Emissionen. Die hier vorgestellten noch weiter zu führenden Untersuchungen sollen einen Beitrag zur Klärung dieser Probleme und zur Weiterentwicklung dieses Haltungssystems erbringen. Es ist vorgesehen die Versuchsreihen weiter fortzuführen.

## 2 Methoden

Die Untersuchungen erfolgen in zwei Stallabteilen der Ruhlsdorfer Versuchsanlage. In Stall 3 ist die Großgruppenbucht für 40 bis 45 Mastschweine eingerichtet. Im Vergleichsabteil Stall 2 ist dieselbe Großbucht durch zwei Trennwände so unterteilt, dass drei gleiche Buchten für 13 bis 15 Mastschweine (Normalgruppe) vorhanden sind. Die Wasserversorgung erfolgt mit Tränknippeln und die Fütterung ad libitum über Trockenfutterautomaten. Tierspezifische Parameter wie Herkunft der Tiere, Futterzusammensetzung, Einphasenmast ohne zwischenzeitliches Umställen usw. werden für die Ställe 2 und 3 gleich gehalten. Die Haltung erfolgt in beiden Ställen auf Teilspaltenboden. Die Stallabteile sind über einen Kanal an ein Unterdruck-Lüftungssystem angeschlossen. Die Zuluft strömt über einen Lochkanal in den Stallraum. Die Steuerung des Volumenstroms kann getrennt für jedes Stallabteil erfolgen. Das hatte in den beiden Messperioden im Herbst 2003 zu Problemen geführt, da die Volumenströme sehr unterschiedlich waren. Im Sommer 2004 war es besser gelungen für beide Ställe etwa denselben Luftvolumenstrom einzustellen.

Die klimatischen Randbedingungen werden durch Temperatur-/Feuchte-Datenlogger aufgezeichnet. Der Luftvolumenstrom der Ställe wird auf drei unterschiedliche Arten bestimmt.

- Messung der Luftgeschwindigkeit mit einem Flügelrad im Abluftkanal (Kurzzeitmessungen durch „Abfahren“ des Querschnittes bzw. Verlaufsmessung in der Mitte des Abluftkanals.
- $\text{CO}_2$  – Bilanzmethode (BRUNSCH et al. 2003)
- Tracergasmessung unter Verwendung von  $\text{SF}_6$  als Tracergas. Die kontinuierlich zugeführte und gemessene Tracergasmenge ermöglicht durch kontinuierliche Konzentrationsverlaufsmessung die Ermittlung des Verlaufs des Volumenstroms.

Der Verlauf der  $\text{CO}_2$ -,  $\text{NH}_3$ - und  $\text{SF}_6$ -Konzentrationen wird mit einem Multigasmonitor ermittelt.

Der Emissionsmassenstrom eines Gases ergibt sich als Produkt aus dem Volumenstrom und der parallel dazu gemessenen Konzentration des Gases. Da sich sowohl der Volumenstrom als auch die Konzentration ständig ändern, variiert auch der Emissionsmassenstrom. Damit man eine Aussage über die Ammoniakemission bei der Schweinehaltung machen kann, ist über längere Zeitabschnitte der Emissionsmassenstrom zu bestimmen und zu integrieren.

### 3 Ergebnisse

Die Nettobuchtenfläche pro Tier liegt bezogen auf 42 Tiere in der Großgruppe und bei 14 Tieren in der Normalgruppe bei 0,87 m<sup>2</sup>. Diese Fläche ist größer als die bisher üblichen Buchtenflächen pro Tier. Dadurch haben die Schweine bessere Möglichkeiten der Strukturierung der jeweiligen Bucht in Bereiche zur Futteraufnahme, zum Exkrementabsetzen und zum Liegen. Bonitierungen in den Versuchsabteilen zeigen in der Sommerperiode 2004 für die Normalgruppenbuchten mit 31,7 % einen deutlich höheren Anteil feuchter und verschmutzter Buchtenfläche als in der Großgruppenbucht mit 25,9 %. Für die Messperiode im Herbst 2003 liegen diese Werte etwas niedriger (Normalgruppenbucht 28,9 %; Großgruppenbucht 23,8 %), aber die Tendenz ist dieselbe. Die typische Verteilung der verschmutzten Flächen ist in der Abbildung 1 für beide Ställe dargestellt.

Die typische Verteilung der verschmutzten feuchten Flächen in der Großgruppenbucht zeigt, dass der mittlere Buchtenbereich verstärkt als Liegefläche genutzt wird, während beispielsweise gegenüber den Futterplätzen und an der linken Buchtwand vor allem die Exkremente abgesetzt werden. Bei den Normalbuchten sind die feuchten verschmutzten Flächen vor allem an den Buchtenseitenwänden zu beobachten. Eine ausgeprägte Buchtenstrukturierung wie in der Großgruppenbucht ist bei der Normalgruppenbucht nicht erkennbar. Ebenso ist tendenziell ein höherer Verschmutzungsgrad der Tiere in den Normalgruppenbuchten festzustellen.

Im Hinblick auf die tierspezifischen Parameter wie tägliche Zunahme, spezifischer Futtermittelverbrauch und Muskelfleischanteil sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen (MÜLLER et al. 2004).

Sowohl in der Herbstperiode (MÜLLER et al. 2004) als auch in der Sommerperiode (Abb. 2) sind die Stalllufttemperaturen in beiden Ställen fast identisch. In der Abbildung 2 werden die tagesrhythmischen Schwankungen deutlich. Dabei sind die Schwankungen der Innentemperatur gegenüber der Aussentemperatur gedämpft. Entsprechend den Temperaturschwankungen führt die Lüftungssteuerung zu starken Schwankungen des Luftvolumenstroms (Abb. 3).

In Abbildung 3 ist lediglich ein Beispiel (Stall 3; Sommerperiode 2004) hinsichtlich der zeitlichen Verläufe von Ammoniak-Emissionsstrom, Ammoniak-Konzentration und Luftvolumenstrom gegeben. Es sind die stündlichen Mittelwerte dargestellt. Der Volumenstrom ist in dieser Darstellung nach dem CO<sub>2</sub>-Maßstab ermittelt. Vergleichende Untersuchungen mit SF<sub>6</sub> als Tracer gas und mit der Messung der Luftgeschwindigkeit im Abluftkanal in der Herbstperiode 2003 haben eine ausreichende Übereinstimmung ergeben, so dass für die vergleichende Bewertung der ermittelten Emissionsmassenströme die CO<sub>2</sub>-Bilanzmethode herangezogen werden kann. Ergänzende Darstellungen zu den Messungen im Herbst 2003 sind bei MÜLLER et al. (2004) zu finden.

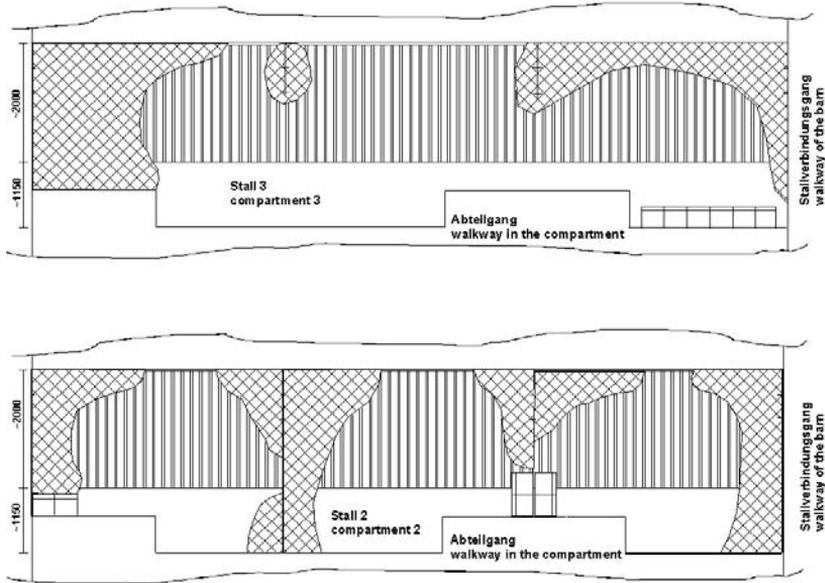


Abb. 1: Typische Verteilung der feuchten verschmutzten Flächen in den Ställen 2 und 3  
 Typical distribution of the wet and dirty areas in the compartments 2 and 3

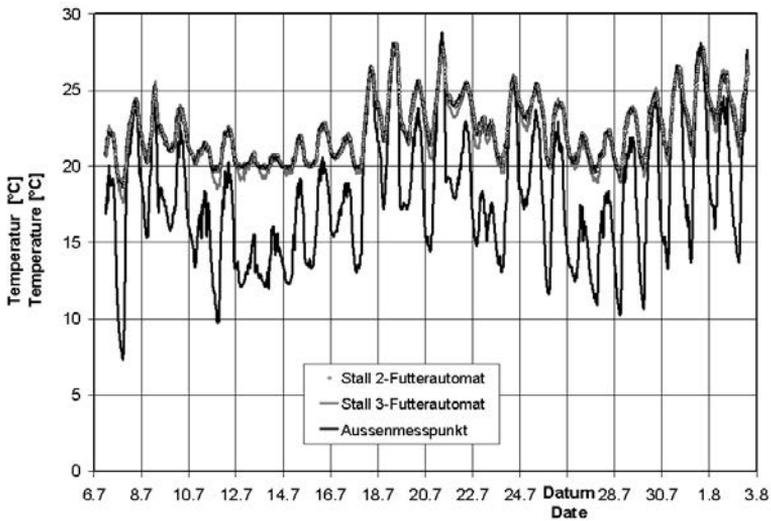


Abb. 2: Verlauf der Lufttemperaturen in den untersuchten Stallabteilen und ausserhalb des Stalles in der Sommerperiode 2004  
 Run of the air temperature in the investigated compartments and outside the building during the summer period 2004

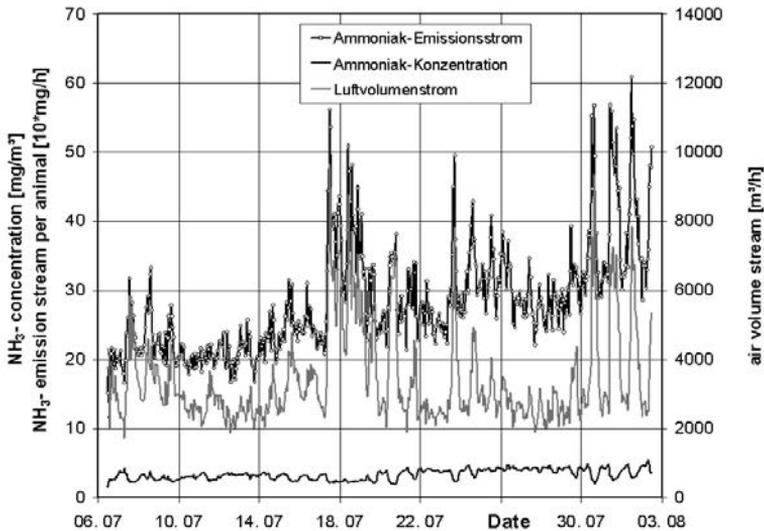


Abb. 3: Verlauf des Ammoniak-Emissionsstroms, der Ammoniak-Konzentration und des Luftvolumenstroms (Stall 3 / 06.07.2004–02.08.2004)

*Run of ammonia emission stream, ammonia concentration and air volume stream (compartment 3 / 06.07.2004–02.08.2004)*

Die Ermittlung der Emissionsmassenströme erfolgt durch Integration der ermittelten Emissionsströme über die jeweiligen Messzeiträume. Eine vergleichbare Größe ist der Emissionsmassenstrom bezogen auf eine Stunde und auf eine Großvieheinheit (500 kg Tiermasse). Diese Werte sind für die beiden Ställe und für die genannten Messperioden ermittelt worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Ermittelte durchschnittliche Ammoniakemissionen in g/(h GV) während drei Messperioden

Messperiode	20.–30.10.2003	18.11.–4.12. 2003	6.7.–2.8.2004
Stall 3 (Großgruppe)	3,08	2,66	3,20
Stall 2 (Normalgruppe)	2,55	2,36	2,62

Die in Tabelle 1 zusammengestellten Werte spiegeln das Gegenteil von dem wider, was zu erwarten wäre. Trotz der nachgewiesenen geringeren Verschmutzung in der Großgruppe, werden in der Normalgruppe etwas geringere Emissionen ermittelt. Das hängt sicher mit der Vielfalt der Einflussgrößen zusammen. Es gelingt nicht diese Einflussgrößen in beiden Ställen genau gleich zu halten und nur die Gruppengröße zu ändern. Erklärt werden kann das Ergebnis durch die folgenden Betrachtungen. In den ersten beiden Durchgängen ist in der Normalgruppe mit einem geringeren Volumenstrom gefahren worden. Das konnte zu Beginn dieser Untersuchungen nicht sofort korrigiert werden. Höherer Volumenstrom bedeutet in den meisten Fällen höhere Ammoniakemission (verbesserter Stoffübergang an den Quellen). Offensichtlich überwiegt in diesem Fall der Einfluss des Volumenstroms gegenüber der relativ geringen Unterschiede im Verschmutzungsgrad des Fußbodens. Es ist bei der Betrachtung

zu berücksichtigen, dass auch aus dem Güllekanal Ammoniak emittiert wird und das Güllesystem ist in beiden Ställen gleich. In der Sommerperiode 2004 ist der Volumenstrom der beiden Ställe recht gut ausgeglichen. Durch die besseren Bewegungsmöglichkeiten in der Großgruppe sind hier die Tieraktivitäten gegenüber der Normalgruppe erhöht. Das kann auch ein Grund für höhere Ammoniakemissionen sein.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zur Haltung von Mastschweinen in unterschiedlich großen Gruppen haben gezeigt, dass mit zunehmender Gruppengröße nicht unbedingt eine Reduzierung von Ammoniakemissionen erreicht werden kann. Bei den drei durchgeführten Messkampagnen liegen die Emissionen der Großgruppe über den Emissionen der Normalgruppe. Hinsichtlich des Wohlbefindens der Tiere scheint die Großgruppe etwas günstigere Bedingungen zu haben. In Bezug auf Tiergesundheit und Tierleistung sind jedoch zwischen den beiden Untersuchten Gruppenvarianten keine Unterschiede festzustellen. In der Versuchsanlage sind weitere Untersuchungen vorgesehen. Dabei soll mit den bereits installierten Messventilatoren die Luftvolumenströme noch genauer bestimmt werden. Neben einiger ergänzenden Untersuchungen zur Gruppengröße sollen der Einfluss der Stalllufttemperatur, der Gestaltung des Lüftungssystems und der Fütterung auf die Ammoniakemission untersucht werden.

#### 5 Literatur

BRUNSCH, R.; HÖRNIG, G. (2003): Zur Variation der Emissionen aus der Broilermast, 6. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 25.–27. März 2003, Vechta, Proc. 311–316.

MÜLLER, H.-J.; VENZLAFF, F.-W. (2004): Ammonia Emission from Fattening Pig Houses, AgEng 2004, 12.–16. September, 2004, Leuven, Belgium, Proceedings-CD Paper No. 073.

# Einfluss der Änderung des Tier-Fressplatzverhältnisses bei Gruppenhaltung von Hannoveranerstuten auf die Nutzung der Funktionsbereiche und einige Verhaltensparameter

## *Influence of a changed animal to feeding-place ratio in group penning of Hanoverian mares on the use of functional areas and some behaviour parameter*

PETER KREIMEIER<sup>1</sup>, SONJA WRISKE<sup>1</sup>, FRANZ-JOSEF BOCKISCH<sup>1</sup>, WILLA BOHNET<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Institut für Tierschutz und Verhalten, Tierschutzzentrum der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Bünteweg 2, D-30559 Hannover

**Schlüsselwörter:** Pferdehaltung, Fütterungstechnik, Fressplatz, Artgerechtigkeit  
**Keywords:** Horse keeping, feeding technique, feeding place, animal welfare

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen der Forschung über artgerechten, aber kostenoptimierten Stallbau wurde der Einfluss eines reduzierten Tier-Fressplatzverhältnisses (Tier-Fp-V) von 1:1 über 2:1 bis 3:1 auf das Verhalten und die Gesundheit der Pferde untersucht.*

*Die Raufuttergabe erfolgte mittels automatisierter Fütterungstechnik. Der Gesundheitszustand der Versuchspferde während ihres Aufenthaltes im Versuchsstall war gut. Bei ersten Auswertungen der Fütterungsdaten für das Tier-Fp-V 1:1 fiel auf, dass die Pferde Präferenzen für einen bestimmten Fressstand entwickelten, die schon bei der Veränderung des Tier-Fp-V auf 2:1 verschwanden. Erste Videoauswertungen zeigen, dass sich das Verhalten bei zunehmendem Tier-Fp-V insoweit verändert, als dass sich die Stuten offenbar vermehrt vor den Fressständen aufhielten und dort auch vermehrt der Kotabsatz stattfand.*

### **Summary**

*Within the context of the research on species-appropriate but cost-optimised construction of stables, this study analyzed the influence of a reduced animal to feeding place ratio (animal-fp-r) of 1:1, 2:1 up to 3:1 on the behaviour of horses and their health.*

*The hay was provided by automated feeding technique. The health condition of all horses during the testing period in the testing stable was defined to be good. First analysis of the collected data on regular animal feeding at animal-fp-r of 1:1 showed preference of the horses for a specific feeding place. This behaviour was already reduced as the animal-fp-r was increased to 2:1. First analysis of video recordings show that the increased animal-fp-r leads to a change in behavior. The mares apparently stay for longer times at the feeding stations, thus producing increased amounts of faeces in front of it, too.*

## 1 Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Nutzung von Pferden sowie das Verhältnis zwischen Mensch und Pferd grundlegend verändert: Während früher das Pferd vorwiegend mehrere Stunden täglich zur Arbeit eingesetzt wurde, werden die meisten Pferde heutzutage für Sport- und Freizeitaktivitäten genutzt und hierbei häufig nur eine Stunde täglich bewegt. Das Pferd wird zunehmend als Freund und Partner betrachtet, somit kommen zu den Aspekten der Wirtschaftlichkeit die des Tierschutzes und der Tiergesundheit. Häufig erkranken die in den konventionellen Boxen gehaltenen Pferde mit wenigen Bewegungsmöglichkeiten im Bereich des Atmungs- oder Bewegungsapparates oder zeigen Verhaltensstörungen wie Koppen oder Weben. In Haltungssystemen wie der Mehrraumgruppenhaltung mit Auslauf werden grundsätzlich derartige Probleme reduziert, jedoch sind solche Haltungsverfahren in anderen Bereichen zu verbessern.

## 2 Zielstellung

Bei einer Fütterungsweise, bei der die Pferde ihr Raufutter in Fressständen angeboten bekommen, ist es von wirtschaftlicher Bedeutung, wie viele Pferde von einem Fressplatz versorgt werden können, da eine erhöhte Anzahl von Fressplätzen sowohl durch den vermehrt benötigten Raum als auch durch höhere Investitionen in Fütterungstechnik erhebliche Kosten verursachen. Diese sollten pro Pferd natürlich möglichst niedrig sein, ohne die Artgerechtigkeit zu vernachlässigen.

Es sollen drei verschiedene Tier-Fressplatz(Fp)-Verhältnisse(V) untersucht werden: ein Pferd pro Fressplatz (1:1); zwei Pferde pro Fressplatz (2:1) und drei Pferde pro Fressplatz (3:1).

Die Untersuchung sollte zeigen, welches Tier-Fp-V ausreicht, alle Pferde bedarfsgerecht zu versorgen und wie groß die durchschnittliche Nutzungsdauer der jeweiligen Funktionsbereiche ist. Zudem wurde der Einfluss auf das Liege-, Ausscheidungs-, Sozial- und Spielverhalten sowie die Tiergesundheit beurteilt.

## 3 Versuchsaufbau, Material, Versuchsablauf und Methoden

Als **Versuchsstall** (s. auch Beitrag KREIMEIER et al. in diesem Tagungsband) stand ein neues Gebäude des Institutes für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig zur Verfügung. Das Gebäude ist in zwei Stallabschnitte aufgeteilt: Die eine Seite ist für eine Mehrraumgruppenhaltung mit Auslauf für sechs Pferde konzipiert, die andere Seite verfügt über 6 Einzelboxen mit gemeinsamen Ausläufen für je zwei Pferde. Die in dieser Studie genutzte Gruppenhaltung verfügt über die folgenden Funktionsbereiche: Der Liegebereich ist mit Stroh eingestreut und groß genug, dass sich alle sechs Pferde gleichzeitig darin aufhalten und hinlegen können. Zwei Eingänge gewährleisten ausreichend Ausweich- bzw. Fluchtmöglichkeiten für ein bedrängtes Tier. Es gibt eine Tränke und einen Salzleckstein. Der Fressbereich ist durch Trennwände aus Holzplanken mit aufgesetzten Metallgittern in sechs Einzelstände gegliedert. Sie sind nach hinten offen, vorne befinden sich die Fütterungsanlagen. Der Auslauf verbindet Liege- und Fressbereich. Er ist durch halbhohe Trennwände aus Stahlrohren strukturiert, so dass bestimmte Wege vorgege-

ben und verlängert werden. Der Bodenbelag besteht in der obersten Schicht aus Sand und ist drainiert. An der vom Stall abgewandten Seite befinden sich drei frostgeschützte Tränken. Die überdachten Bereiche vor dem Liegebereich bzw. vor dem Fressbereich sind gepflastert und bieten den Pferden zwei ebene, witterungsgeschützte Bereiche.

Die **Fütterungstechnik** ist ein Prototyp, an dem gleichzeitig Rau- und Kraftfutter gefüttert werden kann. Sie besteht aus folgenden Anteilen: Vom Fressstand aus blickt man auf das aus senkrechten Gitterstäben bestehende, direkt über dem Boden beginnende, etwa 50 cm hohe Fressgitter. Davor schiebt sich je nach Funktionszustand der Anlage ein Metallschieber, der den Zugang zum Fressgitter versperrt. Rechts des Gitters direkt auf dem Boden befindet sich die Kraftfutterschale aus Stahl. Im mittleren Drittel der linken Seitenwand befindet sich hinter einer grauen Plastikplatte das Lesegerät für die durchnummerierten Transponder, die jedes Versuchspferd am Halsband trägt. Auf der Seite der Stallgasse befinden sich die Motoren zum Bewegen der Schieber, außerdem für jedes Pferd ein Auswurfdosierer für das Kraftfutter sowie jeweils ein Kraftfutterbehälter. Direkt vor den Fressgittern liegt auf einer abschüssigen Ebene das nachrutschende Raufutter.

Die Kraftfuttergabe erfolgt mit Hilfe einer Zeitschaltuhr gleichzeitig in allen Fressständen. Das Raufutter wird mittels Transpondertechnik zugeteilt: Zunächst teilt der Computer die Tagesfresszeit (z. B. 300 min) in 20 gleiche Teile auf. Ab der eingestellten Stunde Null gibt er für jedes Pferd stündlich addierend jeweils 1/20 der Zeit frei (z. B. 15 min). Die übrigen 4 Stunden sind Reservezeit. Betritt ein Pferd einen Fressstand, wird es erkannt und je nach bestehendem Anspruch fährt der Metallschieber nach oben. Nach Ablauf der zugeteilten Minuten fährt der Schieber wieder nach unten und blockiert so den Zugang zum Raufutter. Die Pferde können hierbei frei zwischen den Fressständen wählen und bei vorhandenem Anspruch fressen, wann sie möchten. Hat ein Pferd seine Portion während der ersten 20 Stunden nicht abgeholt, kann es dies in den 4 Reststunden tun. Der Computer zeigt jederzeit die schon abgeholten Minuten absolut und relativ an. Somit lässt sich jederzeit überprüfen, ob die Futteraufnahme gleichmäßig erfolgt und wie lange welches Pferd zur gegenwärtigen Zeit gefressen hat. Zum Sperren der Stände wurde die Tatsache genutzt, dass für jeden Stand eine Raufutterart eingegeben werden muss. Somit kann für einzelne Stände eine Raufutterart eingegeben werden, für die kein Pferd eine Berechtigung hat. Der Computer registriert dann zwar den Aufenthalt des Pferdes im Stand, gibt jedoch kein Futter frei. So wurden für die Varianten 2:1 und 3:1 drei bzw. vier der sechs Fressplätze gesperrt.

Bei den **Versuchspferden** handelte es sich um zwei- bis vierjährige tragende oder zu besamende Stuten von Züchtern des Hannoveraner Verbandes.

Es wurden nacheinander die Varianten 1 (1:1), 2 (2:1) und 3 (3:1) mit der jeweils gleichen Gruppe (6 Pferde) durchgeführt. Danach wurden die Pferdegruppen gewechselt. Insgesamt wurden alle drei Varianten mit 8 Gruppen (7 Wiederholungen) untersucht.

Die Beobachtungen wurden per Videoaufzeichnung durchgeführt. Daher wurden vor Versuchsbeginn vier Kameras so im Stall platziert, dass alle Pferde überall im Stall beobachtet werden konnten. Um die Beobachtung auch bei schlechten Lichtverhältnissen zu gewährleisten, wurden den Pferden Symbole ins Fell gebleicht und ihr Signalement aufgenommen.

Mit Hilfe eines speziellen Computerprogramms der Fütterungsanlage wurde aufgezeichnet, wann sich welches Pferd wie lange in welchem Fressstand aufgehalten hat, wie lange es gefressen hat und wie viel Restanspruch noch bestand. Mit Hilfe dieser Daten lassen sich Vorlieben für bestimmte Fressplätze und unterschiedliche Aufenthaltszeiten feststellen.

Weitere Verhaltensparameter wurden über die Videobeobachtung mit zeitgleicher Aufzeichnung aller vier Kameraansichten erfasst. An Verhaltensparametern wurden folgende Funktionskreise mit Bezug zum jeweiligen Aufenthaltsort protokolliert: Liegeverhalten, Ernährungsverhalten, Ausscheidungsverhalten, Sozialverhalten. Alle einzelnen Verhaltensweisen wurden getrennt aufgenommen. Zum Sozialverhalten gehörte auch das Feststellen der Rangordnung vor den Fressständen. Hierfür wurde der Rangindex nach SAMBRAUS (1978) genutzt.

Pro Variante wurden vier 24-Stunden-Abschnitte ausgewertet. Die Daten wurden nach dem Behaviour Sampling (Stichproben-Methode) kontinuierlich aufgezeichnet. Hierbei wurden Tage mit extremen Witterungsbedingungen nicht in die Auswertung aufgenommen, um ein verändertes Verhalten unabhängig vom Stall auszuschließen.

#### 4 Ergebnisse

Bei ersten Auswertungen der Fütterungsdaten zur Variante 1 (1:1) fiel auf, dass die Pferde Präferenzen für einen bestimmten Fressstand entwickelten (Abb. 1). Schon bei der Veränderung des Tier-Fp-V auf 2:1 wurde kein bestimmter Platz mehr gewählt (Abb. 2), sondern offensichtlich der nächste freie Platz genutzt. Dies galt ebenso deutlich auch für das Tier-Fp-V 3:1.

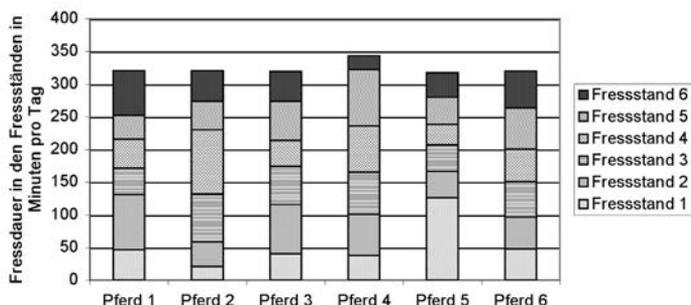


Abb. 1: Variante 1 (Tier-Fp-V 1:1): Fressdauer in den Fressständen in Minuten pro Tag  
 Test variant 1 (animal-fp-r 1:1): Time for consuming at feeding places in minutes per day

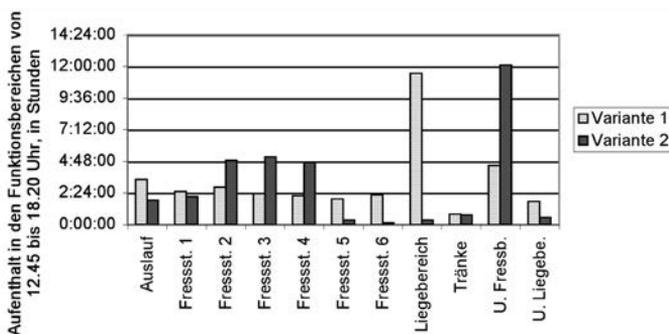


Abb. 2: Variante 2 (Tier-Fp-V 2:1): Fressdauer in den Fressständen in Minuten pro Tag  
 Test variant 1 (animal-fp-r 2:1): Time of eating at the feeding places in minutes per day

Die Auswertungen der Videoaufzeichnungen zeigen, dass sich der Aufenthalt in den unterschiedlichen Funktionsbereichen zwischen den Varianten änderte; so hielten sich z. B. im Vergleich von zwei Nachmittagen (ab Ende des Weideganges bis kurz vor der Kraffuttergabe) die Pferde in der Variante 2 vermehrt vor den Fressständen und nicht wie in Variante 1 viel im Liegebereich auf (Abb. 3). Bemerkenswert ist, dass sich die Pferde auch in Fressständen aufhielten (f1, f5–6), in denen während des Beobachtungsintervalls kein Futter gegeben wurde. Das in Variante 1 beobachtete herdenweise Wandern zu den verschiedenen Funktionsbereichen bleibt größtenteils aus. Auch der Kotabsatz findet in den Varianten 2 und 3 vermehrt vor den Fressständen statt.

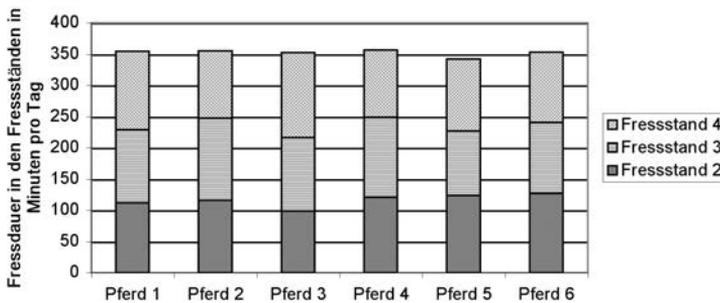


Abb. 3: Aufenthalt in den Funktionsbereichen von 12.45 bis 18.20 Uhr, in Stunden  
*Time in hours, spent at different functional areas between 12.45 h to 18.20 h*

Der Gesundheitsstatus der insgesamt 48 Pferde (8 Durchgänge á 6 Pferde) war während ihrer Aufenthaltsdauer im Stall sehr gut. Es gab z. B. in den über zwei Jahren dauernden Versuchen keinen Fall von einer Kolik und keine klinisch relevanten Lahmheiten.

## 5 Diskussion und Fazit

Wie die Auswertung der Fressdateien und der Videoaufzeichnungen andeuten, nutzten die Pferde während der Variante 1 (1:1) den Raum des gesamten Stalls aus und gingen stündlich zum Fressen in einen bevorzugten Fressstand. Schon während der Variante 2 (2:1) fiel dieses regelmäßige Wandern durch den Auslauf zum Liegebereich zumindest tagsüber größtenteils weg, die Pferde standen oft vor den Fressständen und warteten auf einen freiwerdenden Fressstand. Es ist abzuwarten, ob die Auswertungen der Variante 3 (3:1) diese Beobachtungen lediglich unterstreichen oder noch neue Erkenntnisse hinzukommen. Auch die vergleichende Analyse der einzelnen Verhaltensparameter für alle drei Varianten lässt weitere Informationen erwarten.

Das untersuchte Haltungssystem ermöglichte den Pferden in allen drei Varianten sowohl einen guten Gesundheitsstatus als auch einen guten Ernährungszustand. Nur von diesen Punkten aus gesehen, ließe sich der Schluss ziehen, ein Tier-Fressplatzverhältnis von 3:1 reiche für eine ausreichende Versorgung aus. Die Beurteilung ist jedoch komplexer vorzunehmen; so lassen die beginnenden Verhaltensuntersuchungen erahnen, dass es deutliche Veränderungen beim Aufenthalt an den verschiedenen Orten und somit im Bewegungsverhalten

gab. Für eine ausreichende Beurteilung sind die Ergebnisse für das Sozial- und Liegeverhalten von großer Bedeutung.

## 6 Literatur

BOCKISCH, F.-J.; KREIMEIER, P. (2001): Haltungssysteme für eine tier- und umweltgerechte Pferdehaltung, Sonderdruck Pferdeland 17–21.

v. COBURG, V. (2001): Stallbau und Stallausrüstungen für die artgerechte Pferdehaltung, Sonderdruck Pferdeland 22–25.

GEISMANN, T. (2002): Verhaltensbiologische Forschungsmethoden, Schöningh Verlag.

KREIMEIER, P. (1999): Pferdehöfe einrichten, Bauernzeitung 3, 12–13.

SAMBRAUS, H. H. (1978): Nutztierethologie. Verlag Paul Parey.

ZEITLER-FEICHT, M. H. (2001): Handbuch Pferdeverhalten, Eugen Ulmer GmbH & Co.

ZEITLER-FEICHT, M. H.; PRANTNER, V. (2000): Liegeverhalten von Pferden in Gruppenauslaufhaltung, Archiv für Tierzucht 43, 4, 327–335.

## Staubbelastungen in Pferdeställen – Entstehung, Wirkung und Ursachen *Airborne dust in horse barns – origin, effect, and cause*

EDITH SZABO, INES SCHÄFER, WOLFGANG BÜSCHER

Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“,  
Nussallee 5, D-53115 Bonn

**Schlüsselwörter:** Staub, Einstreu, Luftqualität  
**Keywords:** *Dust, bedding material, air quality*

### **Zusammenfassung**

*Staub in der Stallluft von Pferdeställen gilt als Hauptursache für die Entstehung von Atemwegserkrankungen bei Pferden. Minderwertige Einstreumaterialien, sowie ein mangelhafter Luftaustausch sorgen für hohe Konzentrationen in der Luft.*

*Nach Aussage von Pferdehaltern liegt das Problem in dem häufig verwendeten Einstreumaterial Stroh. Alternative Materialien scheinen hier die Lösung zu sein.*

*Am Institut für Landtechnik der Universität Bonn wird in einem laufenden Forschungsprojekt untersucht, inwieweit sich sechs verschiedene Einstreumaterialien in ihrer Staubfreisetzung unter Praxis-, als auch in einem standardisierten Messverfahren unter Laborbedingungen unterscheiden.*

### **Summary**

*Dust in the air of horse barns causes lower airway diseases in horses. Poor quality of bedding materials, as well as deficient air exchange are responsible for high dust concentrations in the air. According to informations given by horse owners the problem lies in straw, the most popular and common bedding material in horse barns.*

*Bedding material is at great importance in horse management systems as a key source for high dust concentrations. Particularly straw, the most common bedding in horse stables, seems to cause respiratory diseases. Alternative bedding materials are considered to be the best solution.*

*At the Institute of Livestock Technology of Bonn University a standardised method were developed to analyse six different types of bedding material concerning their dust release depending on the particle size.*

## 1 Einleitung

Chronische Atemwegserkrankungen bei Sport und Freizeitpferden sind neben den Erkrankungen des Bewegungsapparates die zweit häufigste Ursache für tierärztliche Behandlungsmaßnahmen. Ursache und Krankheitsgeschehen sind bislang noch nicht vollständig geklärt und nach wie vor Gegenstand intensiver Forschungen in der Tiermedizin. Man ist sich jedoch sicher, dass die Erkrankungen der Atemwege durch ein schlechtes Stallklima hervorgerufen werden. Die verbreitetste Aufstallungsform in Deutschland ist die Einzelhaltung in Innenboxen wärmeisolierter Ställe (PIOTROWSKI, 1992). Ein optimaler Luftaustausch wird vor allem in den kalten Jahreszeiten durch geschlossene Stalltüren und Fenster unterbunden. Begünstigt durch staubiges Einstreumaterial atmen Pferde den größten Teil des Tages staubige Luft ein. Im Gegensatz zu Nutztieren, die meist geschlachtet werden bevor respiratorische Erkrankungen in eine chronische Form übergehen können, sind Pferde meist ihr Leben lang den Umweltbedingungen im Stall ausgesetzt. Die Wahrscheinlichkeit einer manifesten allergischen und chronischen Erkrankung des Respirationstraktes ist somit sehr hoch.

Eine Minimierung der Leistungsfähigkeit (athletische Fähigkeit), sowie eine Beeinträchtigung des langfristigen Wohlergehens der Tiere sind die Folge. Daher sollte einer Reduzierung von Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Verbesserung der Haltungsbedingungen im Stall ein hoher Wert beigemessen werden.

Nachfolgende vorgestellte Untersuchungen zeigen anhand einer standardisierten Methode die Staubfreisetzung verschiedener Einstreumaterialien und die Unterschiede in der Staubzusammensetzung.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Einstreumaterial (Probenmaterial)

Gegenstand der Untersuchung sind fünf in der Pferdehaltung gebräuchliche Einstreuarten: Stroh, Hobelspäne, Leinstroh, Hanfschäben und gepresste Pellets aus Strohhäcksel. Miscanthus, eine Produktneuheit und Alternative zu herkömmlichen Einstreuarten, wurde als sechste Probe untersucht. Gepresst zu Pellets, hat das perennierende C4 Gras den Vorteil verminderter Staubbildung und folglich eines Ausbleibens von Atemwegsreizungen (GALLIN-AST, 2004).

Stroh als das am häufigsten verwendete Material in der Praxis. Es wurde zur Untersuchung von typischen Rundballen entnommen, die im Sommer 2003 unter trockenen Bedingungen gepresst wurden. Die Proben von Hanfschäben, Leinstroh, Hobelspänen und gepressten Pellets aus Strohhäcksel entstammen konventionell abgepackten Ballen, die in den meisten Pferdebedarf-Handlungen erhältlich sind. Bis auf Stroh werden alle Einstreuarten als „entstaubt“ oder „staubfrei“ beworben. Die nach folgenden Untersuchungen sollen klären, inwiefern sich alternative Einstreumaterialien in ihrem Staubungsverhalten von Stroh unterscheiden.

### 2.2 Versuchsdurchführung und Messgerät

Die sechs Einstreuarten wurden unter Laborbedingungen getestet, um äußere Einflüsse wie Stallklima und Tieraktivität auszuschließen. Eine standardisierte Methode, die das Einstreuen

im Stall simuliert, konnte mit einem rotierenden Würfel geschaffen werden. Dieser ist in zentraler Achse drehbar aufgehängt und dreht sich mit Hilfe eines Elektromotors mit einer Geschwindigkeit von 9 U/min (Abb. 1). Durch die Bewegung des Probenmaterials soll ein extremer Einstreuprozess und die damit verbundene Staubfreisetzung in einer Pferdebox simuliert werden. Um eine elektrostatische Aufladung und der damit verbundenen Verfälschung der Messungen in dem Würfel zu vermeiden, wurde der Innenbereich mit Aluminiumfolie ausgekleidet. Die vordere Seite der Kiste, die der Be- und Entladung des Einstreumaterials diente, wurde aus Aluminium gefertigt. Durch eine seitliche Öffnung konnte ein radialsymmetrischer Ansaugkopf des Staubmessgerätes in die Mitte der Staubkiste eingebracht werden, ohne dass diese geöffnet werden musste.

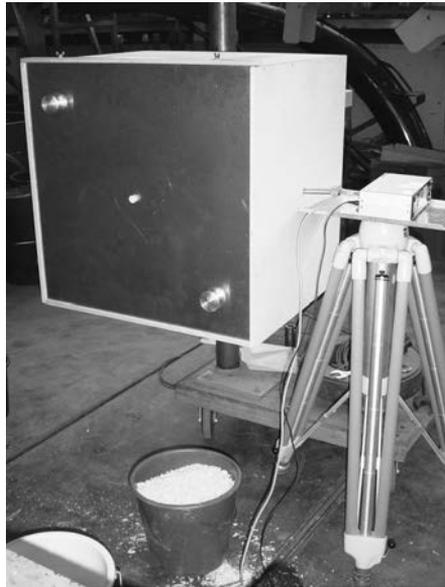


Abb. 1: Rotierender Würfel zur Staubmessung  
*Rotating cube for dust monitoring*

Vor jeder Messung wurden 100 g des Probenmaterials in die Mitte der Kiste gelegt. Jeder Einstreuart wurden vier Proben unterschiedlicher Chargen entnommen und jeweils eine Minute in der Staubkiste bewegt. Die Messung erfolgte im unmittelbaren Anschluss. Eine gründliche Säuberung der Kiste vor jeder Probe, sollte eine möglichst „staubfreie“ Ausgangssituation schaffen. Da dies kaum zu gewährleisten ist, wurde zwei Minuten lang die Hintergrundkonzentration in der Kiste gemessen. Nach Subtraktion dieser von dem Staubgehalt der Probe, konnte man von gleich bleibenden Voraussetzungen vor jeder neuen Messung ausgehen.

Bei dem Messgerät zur Staubkonzentrationsbestimmung handelt es sich um einen Aerosol-Spektrometer Modell-Nr. 1.108 der Firma Grimm, Aerosol Technik GmbH & Co. KG, Ainring. Gemessen wurde die Partikelanzahl in Abhängigkeit der Partikelgröße in einem definierten Luftvolumen nach dem Streulichtprinzip. Die Staubpartikel werden in 15 verschiedenen Größenklassen ( $0,3 \mu\text{m} \rightarrow 20 \mu\text{m}$ ) gemessen.

### 3 Ergebnisse

Zum anschaulichen Vergleich der Einstreumaterialien wurden nicht die Absolutwerte dargestellt, sondern im Verhältnis zu Stroh Anteilig in Prozent dargestellt. In Abb. 2 sind die Ergebnisse der Staubmessungen vergleichend dargestellt. Hanfschäben zeigen hier die höchste Staubbefreiung. Im Vergleich zu Stroh hatte Hanf in diesen Messungen ein 10–15-fach höhere Staubbefreiung. Vergleichbare Untersuchungen an der Bergischen Universität Wuppertal konnten dies bestätigen (RIEGER, 2001).

Abweichend von Literaturangaben, konnte sich Leinstroh in diesen Untersuchungen nicht durch verminderte Staubbildung hervorheben. Ähnlich wie Hanf, zeigt Leinstroh gerade bei den kleinen Fraktionen eine 5–9-fach höhere Staubbefreiung als vergleichsweise Stroh.

Besonders wenig staubbefreiend sind die Einstreumaterialien in Pelletform. Insbesondere Miscanthus, das schon in Praxisversuchen im Vergleich zu anderen Einstreuarten als wenig staubend eingestuft werden konnte, zeigte eine geringe Staubbefreiung (GALLIN-AST, 2004).

Bei den Hobelspänen, die gängigste Alternative zu Stroh und Mittel der Wahl bei hustenden Pferden, waren in allen Fraktionen die Werte um ein 1–2-faches höher als bei dem Vergleichsmaterial Stroh.

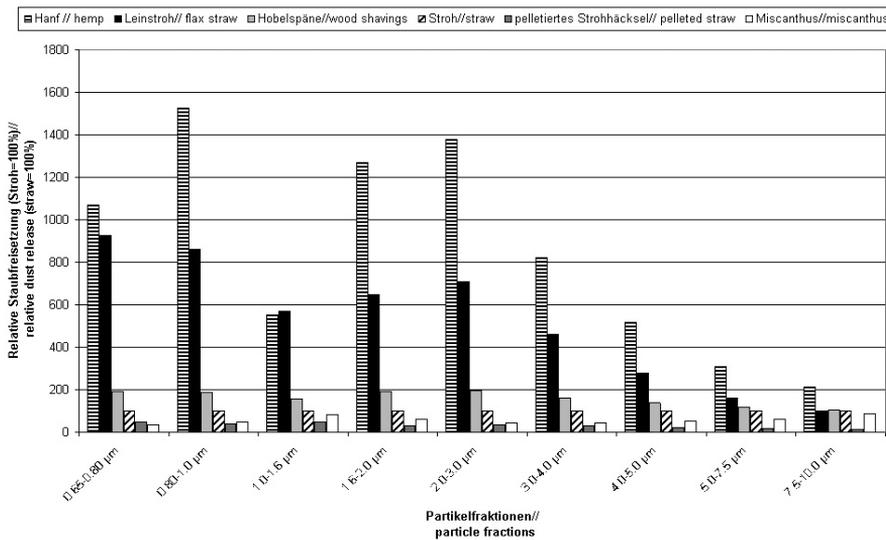


Abb. 2: Staubbildungsverhalten verschiedener Einstreuarten im Verhältnis zu Stroh  
*Dust exposure from different sources of bedding in relation to straw*

### 4 Fazit

Ziel dieser Untersuchungen war es verschiedene Einstreumaterialien in einem simulierten Einstreuprozess zu vergleichen. Laufende Untersuchungen am Institut für Landtechnik der Universität Bonn haben bisher bestätigt, dass Hanfschäben auch dort die höchste Staubbefreiung verursachen. In diesen Versuchsreihen wird nicht berücksichtigt, wie sich bereits

eingestreutes Material im Laufe einer Matratzenbildung in einer Pferdebox verhält. Hier wäre denkbar, dass durch Bindung von Flüssigkeit die Staubfreisetzung des jeweiligen Materials im Verhältnis anders ausfällt. Die derzeit laufenden Versuchsreihen in der Praxis sollen diese und ähnliche Zusammenhänge klären.

## 5 Literatur

GALLIN-AST, H. (2004): Zwischenprodukt „NaWaRo Tiereinstreu Miscanthus“ – Alternativen zu herkömmlichen Einstreuprodukten. Beiträge zu Agrarwissenschaften, Band 28. Anbau, Verwertung und Erfolgsaussichten von Miscanthus in Europa; 3. Internationale Miscanthus-Tagung vom 02.–03.03.2004 in Bonn; Ralf Pude (Hrsg.).

RIEGER, M (2001): Biologische Belastungen der Beschäftigten in der Landwirtschaft. Habilitationsschrift, Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal, S.143.

PIOTROWSKI, J. (1992) : Forschungsergebnisse und Erkenntnisse zur tiergerechten Pferdehaltung Züchtungskunde 64, 222–235.



## Improvement of indoor conditions in poultry houses *Verbesserung der Klimagegestaltung in Geflügelställen*

PAVEL KIC

Technical Faculty Czech University of Agriculture, 165 21 Prague-6 Suchbátův Březůvka Czech Republic

**Keywords:** Laying hens, broilers, modernisation, ventilation, heating, heat-recovery

**Schlüsselwörter:** Legehennen, Geflügelmastanlagen, Modernisierung, Lüftungstechnik, Heizung, Wärmerückgewinnung

### Summary

*Technical systems and equipment for laying hens in large-scale eggs production made the dramatic development during the last decades. One of the principal questions, which have to be solved, is the ventilation of the building. The efficiency of the broiler production depends on many factors. The optimal microclimatic control is one of the important production conditions for the success in the meat chickens production. The experience in a modernisation and improvement of poultry production technology (housing, ventilation, heating and cooling) at several farms was focused to the creation of suitable microclimatic conditions with respect to the savings of energy in Czech Republic during the last years.*

### Zusammenfassung

*Im Bereich der Eier-Großproduktion haben technische Anlagen und Ausrüstungen für Legehennen in den letzten Jahrzehnten eine dramatische Entwicklung durchgemacht. Eines der grundsätzlichen Probleme die zu lösen waren, ist die Klimatisierung der Gebäude. Auch in den Produktionsanlagen für Masthähnchen ist das Stallklima, beziehungsweise die Kontrolle des Mikroklimas, ein wichtiger Faktor der die Effektivität der Mast bestimmt. Der vorliegende Bericht stellt die Erfahrungen bei der Modernisierung von Geflügelproduktionsanlagen (Hal-tung, Lüftung, Heizung und Kühlung) in Betrieben der tschechischen Republik in den letzten Jahren dar. Schwerpunkt war die mögliche Energieeinsparung bei Schaffung eines geeigneten Mikroklimas.*

## 1 Introduction

The efficiency of poultry production depends on many factors. The optimal microclimatic control is one of the important production conditions for the success in the eggs and poultry meat production. The choosing of suitable ventilation system depends on the housing technology, shape and dimensions of building.

## 2 Suitable microclimatic conditions for poultry

The basic instructions and recommendation for the ventilation design are summarized in the national standards SN 730543-2 valid in Czech Republic. Data, which are necessary to know for the calculation of winter and summer ventilation and heating (heat production, gas production etc.), are completed by the simple equations and basic recommendations for the designing procedure.

Temperature is very important factor. The chickens are very sensitive to the differences in temperatures. The temperatures for 1-day chickens should be from 30 to 33 °C. It is suitable to heat the broiler house better to 32–35 °C. The thermoregulation is growing slowly and completely developed in 3–4 weeks of age. The indoor temperature should be in this age about 22–23 °C. Since the 5th week of age the temperature should be about 18–21 °C. As the chicks are growing very quickly, the biological production of the heat, gases etc. is changed many times during the fattening period. The ventilation rate must be in relation to these changes.

Tab. 1: Zoo hygienic requirements for air parameters in the buildings for laying hens  
*Zoohygienische Anforderungen an die Stallluft für die Legehennen*

Parameter of microclimate	Recommended value
Air Temperature Minimum [°C]	8
Air Temperature Optimum [°C]	(15) 20 to 22
Air Humidity Optimum [%]	50 to 75
Air Humidity Maximum [%]	85
Maximum air velocity [m.s <sup>-1</sup> ] by optimum indoor air temperature	0,3
Maximum air velocity [m.s <sup>-1</sup> ] by higher air temperature than optimum	2,0

Tab. 2: The highest allowed concentrations of the main noxious gases in the indoor air  
*Die höchsten erlaubten Schadgaskonzentrationen in der Stallluft*

Concentration of noxious gases	% volume	p.p.m.	mg.m-3
Carbon dioxide	0,25	2500	4500
Ammonia	0,0025	25	18
Hydrogen sulfide	0,0007	7	10

The buildings for laying hens have very high biological density, intensive metabolism and high consumption of oxygen, big production of heat, noxious gases, but also moisture and dust. It is necessary above all to control some following factors:

- temperatures during the whole year,
- ventilation rate sufficient for the fresh air distribution to all housed birds,
- reduce the noxious gases and duct production,
- reduce the noise,
- by the higher air velocity and or by evaporative cooling improve the summer indoors conditions,
- by the suitable lighting system influence positively the production and welfare of hens.

Recommended indoor climate parameters in the buildings for laying hens are summarized in the tables 1 and 2.

### 3 The influence of housing technology

Most commercial table-egg hens are kept in laying cages in all countries with well-developed agriculture since fifties. Laying cages are equipped with sloping wire floors so that eggs roll out the front of the cage into an egg tray. Cages reduce labor, result in cleaner eggs, and keep the hens away from their droppings, which assists in disease prevention. Cage systems of many designs are in use (flat deck, stair step, compact and belt batteries, etc) (BROŽ, KIC, 1995; CHIUMENTI, 1996). It was about 93 % of houses for laying hens equipped by cages in EU countries in 1998.

The process, started by the movement of animal protectors in the EU countries during the last years, resulted in the Council Directive 1999/74/EC of 19 July 1999, which is valid for all EU countries with local legislation applications, and which completely changed the situation in laying hens housing.

The changes of technology in buildings for laying hens housing is based not only on the enlargement of specific floor area which is increased from 450 cm<sup>2</sup> to 550 cm<sup>2</sup> since year 2003, and to 750 cm<sup>2</sup> since year 2012, but also the special changes of technological equipment for housing of laying hens. The majority of currently used constructions with batteries of cages have not sufficient parameters according to the Council Directive 1999/74/EC, e. g. inclination of the floor, minimum high of the cages, possibilities of sand bath, perches etc, and therefore European legislation will not allow the commonly used battery systems in new installations and by January 2012 these housing systems will have to be phased out completely. The technological equipment, which will be allowed to use for housing of laying hens can be one of the following systems.

First version is the improved traditional cage systems (550 cm<sup>2</sup> surface area per 1 hen, 10 cm feeder, 2 nipples or drinkers available per cage. The inclination of the floor must be lower than 14 %. At least 65 % of the floor surface in the cage must be high at least 40 cm and in all places of the cage the high must not be lower than 35 cm). There are many farms for egg production in Czech Republic, which repair and modernise the technological equipment according to the CD 1999/74/EC. These systems are allowed to use only till year 2012.

Recently developed housing systems for laying hens in Czech Republic are the enriched cages. It should be used as a replacement for the hitherto commonly used cage systems to

the following schedule: for all new egg production units from 1 January 2003, and taking the place of commonly used cages in all other egg production units from 1 January 2012 onward. Some minimum requirements have been established in the EU directive including provisions, such as that: each cage must be equipped with perches, lying nest and a sand bath with litter material. Depending upon the individual systems manufacturer, designs may differ in the number of birds per cage, the nest, the sand bath design and the arrangement within a cage. The cage must not be smaller than 2000 cm<sup>2</sup>; the high must not be lower than 45 cm and 750 cm<sup>2</sup> surface area per 1 hen. Generally, birds are kept in a group of 7 to 20 (going up to 50) per cage. Cages are made of steel wire with horizontal front meshing or rods and solid partitions arranged in tiers of 3 to 8. Equipment and feeding can be compared with the commonly used cage systems. Manure is removed automatically via manure belts (with or without aeration). There are two main producer of this technology in Czech Republic.

Laying hens can be also kept in non-cage systems. These housing systems have in common that the birds have more space or can move around more freely within the building. Various designs are applied, mostly can be of two principles. One level (floor or deep litter systems) or more levels systems. This third solution for laying hens housing are aviary systems, barn, perchery and deep litter systems, in which the hens can walk around freely; and free-range systems in which the hens also have access to a confined area outside of the building, where they can freely walk around and lay their eggs (POND, 1999). These systems are still not commonly used in Czech Republic.

A very near future will show us which solution is the best and which can be easily applied in our conditions. Currently, all systems are used for the reconstruction of poultry houses in Czech Republic. In any case, the suitable ventilation system with sufficient ventilation rate and good improvement of microclimatic control is necessary.

#### **4 Ventilation of the buildings for poultry**

Reduction of energy and investment costs can be achieved by the use of suitable software during the preparation of project and designs. Simulation methods based on models in different theoretical and practical level are used in the area of environmental engineering for designing, testing and performance control of buildings and their technical equipment for heating, ventilation and air-conditioning. It helps them to compare different solutions of ventilation control and to choose the best one (KIC, 1996; KIC, 2000).

One example of a program for calculation of all needed parameters for ventilation and heating of stables is a program Ventola (CHIUMENTI et al., 1996). The basic structure of the program was created with the aim to prepare the principle data useful for design of ventilation system and to make available general idea about microclimatic parameters under different outside temperatures. These data would facilitate the choosing of suitable ventilation system and its equipment.

One of the experiments for verification of described program took place in the building for young hens in Czech Republic. The small one-day chickens are moved into the building and after the breeding period as young hens moved in the building for laying hens with eggs production. Two buildings originally with 1 tiers technology and capacity 16000 chickens were reconstructed and equipped with new 4 tiers technology for capacity 42000 chickens per one building. It necessitated also improvement of ventilation system, which was equipped

by exchangers for heat recovery and hot air heating system used for the smallest chickens during the cold period of the year. The ventilation and heating is controlled automatically (KIC, GURDIL, 1999).

Poultry houses for pullets and also for broilers are buildings with high heat generation inside, and incorporate equipment for intensive ventilation. It therefore seems appropriate to use heat recovery systems. The results of experiments using regenerative heat exchangers of special construction in the ventilation system in the department laboratory, and also under real conditions in the building for broilers housing are described in (KIC, 2002) The average efficiency of heat regeneration in final arrangement by the practical tests of heat regenerators provided in the section for 18 180 broilers was about 23 %; the time of heating was 101 h, in the control section of the same building without heat recovery 198 h. The savings for the tested broiler-fattening period were 1455 m<sup>3</sup> of gas.

The choosing of suitable ventilation system depends on the housing technology, shape and dimensions of buildings. Because of the outside climatic conditions and high birds density only the forced ventilation systems are used in Czech Republic. The under pressure is the most common kind of ventilation used as a cross ventilation for narrow buildings or both side ventilation for large buildings. Many relatively small axial fans VE 465, VE 630, equipped the typical constructions, used during the seventies and eighties. The batteries of cages near to the entrance of the fresh air were over ventilated and the last row of the cages near to the air outlet suffered of the noxious gases and not sufficient oxygen. The consumption of energy was very high and reliability of the whole system was low (50 to 60 fans for 1 building with about 16000 hens).

The problems of not equal ventilation in the building were partly solved by the fan-jet systems, with central distribution of fresh air mostly over the rows of cage-batteries. The air outlets were mostly in the sidewalls, by small exhausted axial fans. The problems were mostly with the higher energy consumption and with the condensation of humidity on the air ducts during the winter period.

Last version of manure belt batteries commonly applied throughout the world has the system of collection of manure on the belts below the cages and transported to a closed storage or containers twice a week. In improved belt systems, air blown over the manure to achieve faster drying of the manure. The air is introduced just under each tier of cages, usually via rigid polypropylene ducts. Another benefit is the introduction of fresh cooling air immediately adjacent to the birds. Further improvements consist of the introduction of pre-warmed house air and/or the use of heat exchangers to pre-warm incoming outside air.

A tunnel ventilation design has become popular in recent years, which uses large fans (diameters about 1200–1400 mm) in one end of the house and inlets (often cooling pads for adiabatic air cooling) in the other. This system is most popular with birds on litter floors but can also be found in cage laying houses.

There can be designed and constructed many different combinations between the ventilation systems used for laying hens houses. The differences of fans can also result in energy savings. Very important criteria for the ventilation system and fans choosing are therefore not only airflow and pressure, but also efficiency and specific energy consumption for distributed air into the building. Mostly the fans with large diameters can be more suitable solution in combination with adequate ventilation system. There are also systems of adiabatic cooling based on the spraying of water to the air by the special nozzles. According to the water pressure and dimensions of the water drops the systems of this method of adiabatic cooling

are called as mist or fog systems (KIC, ŠLEGER, 1992; BOTTCHEr et al, 1993; CHIUMENTI et al, 1996).

## 5 Conclusions

Modernisation of the old buildings can be suitable way how to improve the housing technology with the respect to the animal welfare, way how to increase labor productivity in the conditions of lower energy consumption. Energy savings methods are closely related to the ventilation of livestock housing. Obviously, the application of energy savings measures related to ventilation must take into account the health and welfare requirements of poultry. The specific investment costs and costs for energy are very important criteria for final decision of construction modernization.

## 6 References

- BOTTCHEr, R. W.; SINGLETARY, I.B.; BAUGMAN, G. R.: Humidity effects on evaporative efficiency of misting nozzles. In: Livestock Environment IV. ASAE, Warwick, 1993, s. 375–383.
- BROŽ, V.; KIC, P.: Technika v chovech nosnic. IVVMZe ČR, Praha, 1995, 55 s.
- CHIUMENTI, R.: Costruzioni rurali. Edagricole, Bologna, 1996, 738 s.
- CHIUMENTI, R.; KIC, P.; DA BORSO, F.: Climatization of a Laying Hen House: Improvement in Summer Ventilation and Cooling System. In: EurAgEng Conference Madrid '96. Madrid, 1996, Book of abstracts I. s. 481–482, s.4.
- KIC, P.; ŠLEGER, V.: Adiabatic cooling of the air for ventilation in animal husbandry. In: Proceedings I. TAE, VŠZ Praha, 1992, 268–273.
- KIC, P.: Úprava vzduchu ve stájových objektech. Praha, ÚZPI, 1996, 42 p. (Air conditioning in animal houses. In Czech).
- KIC, P.; GURDIL, G.: Simulation of Ventilation and Indoor Air Conditions in Buildings for Young Hens. In: 7<sup>th</sup> international congress on mechanization and energy in agriculture ICAME '99. University of Cukurova, Adana 1999, s.257–262.
- KIC, P.; BROŽ, V.: Zařízení pro větrání a klimatizaci stájí. MZe ČR, Praha, 2000, 71s.
- KIC, P.: Improvement of heat balance of animal houses in winter. In: Nationale Beitrage zur Gestaltung einer Multifunktionalen Agrarwirtschaft. TAU Prag-Humboldt-Universität zu Berlin. ČZU v Praze, PEF, 2002, s. 163–172.
- POND, W. G.: Introduction to animal science. JWS, New York, 1999, 687 p.
- SKŘIVAN, M. et al: Drůbežnictví 2000. Agrospoj, Praha 2000, 203 p.
- Council Directive 1999/74/EC of 19 July 1999.
- ČSN 730543-2 Vnitřní prostředí stájových objektů. Část 2: Větrání a vytápění. 1998 .

## Die Stimubucht – ein neues Verfahren zur Gruppenbildung von Sauen *The stimu-pen – a new tool in mixing groups of sows*

JÖRG BAUER, STEFFEN HOY

Institut für Tierzucht und Haustiergenetik; Abteilung Tierhaltung und Haltunqsbiologie der Justus-Liebig-Universität Gießen, D-35390 Gießen

**Schlüsselwörter:** Sau, Rangordnung, Gruppenhaltung, Fruchtbarkeit  
**Keywords:** Sow, rank order, group housing, fertility

### **Zusammenfassung**

Die Häufigkeit von Rangordnungskämpfen klingt innerhalb der ersten Stunden nach der Gruppierung stark ab. Nach 48 Stunden sind bereits 91 % aller Interaktionen in einer Gruppe beendet.

Bei einer frühzeitigen zweiten Gruppenbildung (sieben Tage Einzelhaltung) nach erfolgter Belegung treten signifikant weniger Rangordnungskämpfe auf als bei einer späteren Gruppenbildung (28 Tage Einzelhaltung).

Die Gruppenbildung direkt nach dem Absetzen lässt die Kämpfe zu einem Zeitpunkt stattfinden, bei dem im Gruppenmittel keine schlechtere Fruchtbarkeitsleistung als bei Kastenstandhaltung zu erwarten ist.

Eine optimierte Stimu-Bucht (Verkürzung der Zeitdauer der ersten Gruppierung von 4 auf 2 Tage, Buchtenvergrößerung von 2,5 auf 3 m<sup>2</sup> pro Sau, bessere Strukturierung der Bucht) kann vor dem Hintergrund einer möglichst durchgängigen Gruppenhaltung tragender Sauen als Management-Instrument genutzt werden, um nachteilige biologische und betriebswirtschaftliche Effekte der Gruppenbildung bzw. -haltung zu vermeiden.

### **Summary**

The frequency of agonistic interactions is decreasing in the first hours after mixing groups of sows. Approximately 91 % of all fights are finished up to 48 hours after mixing.

The frequency of fights for rank position is significantly lower at second mixing if the sows are singly kept for 7 days compared with 28 days.

The mixing of sows very soon after weaning does not lead to a lower fertility compared with housing of sows in single crates.

An optimal stimu-pen (reduction of stay in the pen from 4 to 2 days, enlarged space allowance from 2.5 to 3 m<sup>2</sup> per sow, better structure in the stimu-pen) can be used as a tool to avoid negative biological and economical effects of mixing of sows. Sows can be kept during long-lasting periods in groups.

## 1 Einleitung

Zukünftig wird die Gruppenhaltung tragender Sauen verbindlich vorgeschrieben sein. Die EU-Richtlinie 2001/88/EG schreibt vor, dass Sauen und Jungsauen ab der 5. Woche nach der Belegung bis zum 7. Tag vor dem voraussichtlichen Abferkeltermin in Gruppen zu halten sind. Die Umsetzung in nationales Recht hätte bei Stallneubauten bis zum 1.1.2003 erfolgen müssen. In einem Entwurf des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) von 2003 war zumindest für Sauen und Jungsauen eine 1:1-Übernahme vorgesehen.

Nach der Zusammenstellung von Sauen zu einer Gruppe kommt es zu Rangordnungskämpfen. Diese sind völlig normal und lassen sich nicht verhindern. Zweck der Kämpfe ist es, die sozialen Beziehungen zwischen den Tieren einer Gruppe zu klären. Nach 24 Stunden sind 78 % und nach 48 Stunden bereits 91 % aller Kämpfe bei der Gruppierung von Sauen beendet (BAUER und HOY 2002). Eine schnell etablierte Rangordnung ist biologisch zweckmäßig, da jeder Kampf Energieaufwand bedeutet, und es ist nicht sinnvoll, dass Energie „vergeudet“ wird. Nach KLOCEK et al. (1992), TAUREG et al. (1991), GERTKEN et al. (1993) sowie HOY und LUTTER (1995) können Rangordnungskämpfe Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit haben. Deshalb befürchten viele Sauenhalter nicht unbegründet einen Rückgang der Leistungen durch eine größere Zahl an Umrauschern und eine niedrigere Zahl an lebend geborenen Ferkeln pro Wurf.

Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, die Rangordnungskämpfe durch eine entsprechende Verfahrensgestaltung zu einem Zeitpunkt ablaufen zu lassen, der für die Sau und ihre Embryonen möglichst ungefährlich ist. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war die Entwicklung des Verfahrens „Stimu(lations)bucht“ unter besonderer Berücksichtigung der Häufigkeit von Rangordnungskämpfen. Diese wurden nach erstmaliger Zusammenstellung der Sauengruppen (direkt nach dem Absetzen) und bei erneuter Zusammenstellung der Sauengruppen nach erfolgter Besamung (7 bzw. 28 d nach Einstellung ins Besamungszentrum) analysiert.

## 2 Untersuchungsbedingungen und Methoden

Die Untersuchungen fanden auf der Lehr- und Forschungsstation Oberer Hardthof des Institutes für Tierzucht und Haustiergenetik der Universität Gießen statt. Die 90er Sauenanlage wurde zumeist im Zwei-Wochen-Rhythmus mit 21-tägiger Säugezeit organisiert. Daraus resultierten Sauenabsetzgruppen von 8 Tieren.

In der Sauenanlage wurde eine 20 m<sup>2</sup> große Gruppenbucht mit Stroheinstreu, ad libitum-Fütterung am Rohrautomaten und Sicht- und Schnauzenkontakt zum Eber eingerichtet.

Die Sauen wurden mit der Umstellung in die Stimubucht einem Klimawechsel ausgesetzt. Die Tiere kamen vom wärme gedämmten Abferkelstall in die Gruppierungsbucht im Außenklimastall.

Für die Untersuchungen wurden die Sauen der Versuchsgruppen jeweils am Donnerstag von ihren Ferkeln abgesetzt, in der Stimubucht zu einer Gruppe zusammengestellt und mittels Infrarot-Videotechnik kontinuierlich über 48 Stunden beobachtet.

Die Sauen der **Kurzgruppe** kamen am darauffolgenden Montagmorgen, also nach 4 Tagen Aufenthalt in der Stimubucht, für 7 Tage ins Besamungszentrum, wo sie in Einzelfressständen besamt wurden. Nach einer Woche Einzelhaltung wurden die Sauen erneut in die Stimubucht

umgestallt und wiederum 48 Stunden lang per Videotechnik überwacht (Aufzeichnung mit Langzeit-Videorecorder), bevor die Umstallung in den Wartestall erfolgte.

Auch die Tiere der **Langgruppe** wurden am Montagmorgen nach 4 Tagen in der Stimubucht ins Besamungszentrum umgestallt. Sie wurden jedoch nicht für 7, sondern für 28 Tage in den Kastenständen fixiert. Nach 28 Tagen Einzelhaltung wurden die Sauen der Langgruppe wieder in der Stimubucht zusammengebracht und 48 Stunden lang mittels Videotechnik überwacht.

Die Sauen der **Kontrollgruppe** wurden direkt nach dem Absetzen in Einzelfressstände im Besamungszentrum aufgestellt und besamt. Erst 11 Tagen nach dem Absetzen kamen die Sauen erstmals in der Stimubucht zusammen, wo die Rangkämpfe ebenfalls per Videotechnik 48 Stunden aufgezeichnet wurden. Am Mittwochnachmittag erfolgte dann jeweils die Umstallung der Sauen von der Stimubucht in den Wartestall.

Bei der Auswertung der Videoaufzeichnungen wurden in einer 8 x 8-Matrix sämtliche Kämpfe jeder Sau gegen alle anderen Gruppenmitglieder erfasst und unter Kennzeichnung der Sieger und Verlierer eingetragen. Aus den Rangordnungsdaten wurde der Rangindex (RI) berechnet (PUPPE und TUCHSCHERER 1994, Puppe 1996).

Von den Sauen wurden die Zeitdauer vom Absetzen bis zum Eintritt des Duldungsreflexes, das Auftreten von nichttragenden Tieren nach künstlicher Besamung sowie die Wurfgröße im Folgewurf dokumentiert. Statistisch bearbeitet wurden diese Parameter mit dem Statistik-Programmpaket SPSS 10.0 for Windows und Mittelwertvergleichen nach Student-Newman-Keuls. Anhand der Ergebnisse wurden Vorschläge zur Optimierung der Stimubucht sowie zur Einordnung in die betrieblichen Abläufe von Beispielbetrieben erarbeitet.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Beim ersten Aufeinandertreffen der Sauen schwankte die Anzahl der Auseinandersetzungen zwischen 27,7 und 29,3 Kämpfen pro Sau und 48 Stunden. Die Sauen der Kurzgruppe, die bereits sieben Tage nach der ersten Gruppierung erneut zusammengebracht wurden, kämpften beim zweiten Gruppieren durchschnittlich 6,9 mal in 48 Stunden gegeneinander. Bei einem wiederholten Aufeinandertreffen der Sauen nach 28 Tagen Einzelhaltung traten mit 15,3 Kämpfen pro Sau und 48 Stunden signifikant mehr Kämpfe auf als nach 7-tägiger Einzelhaltung. Gegenüber der ersten Aufstallung reduzierten sich jedoch die Kämpfe um etwa die Hälfte (Abb. 1). Hieraus ist zu folgern, dass die Sauen schon nach einer Zeit von wenigen Tagen beginnen, einander zu vergessen.

Auf der Basis des berechneten Rangindexes wurden die je 8 Sauen einer Gruppe in vier ranghohe und vier rangniedere Tiere eingeteilt und der Zusammenhang zu Parametern des Brunstverhaltens sowie zur Leistung berechnet. Bei Untersuchungen des Brunstverhaltens fiel auf, dass die Sauen der Kontrollgruppe, die während der gesamten Rausche in Einzelfressständen gehalten wurden, signifikant früher rauschten und belegt werden konnten, als die Tiere der beiden Versuchsgruppen. Bei ranghohen und rangniederen Sauen der Kontrollgruppe dauerte das mittlere Absetz-Besamungsintervall im Durchschnitt 5,4 Tage. Bei diesen Tieren war kein Unterschied im Brunstverhalten zu erkennen, da sie voneinander getrennt in Einzelfressständen untergebracht waren. Die Rangordnung konnte den Rauscheintritt folglich nicht beeinflussen.

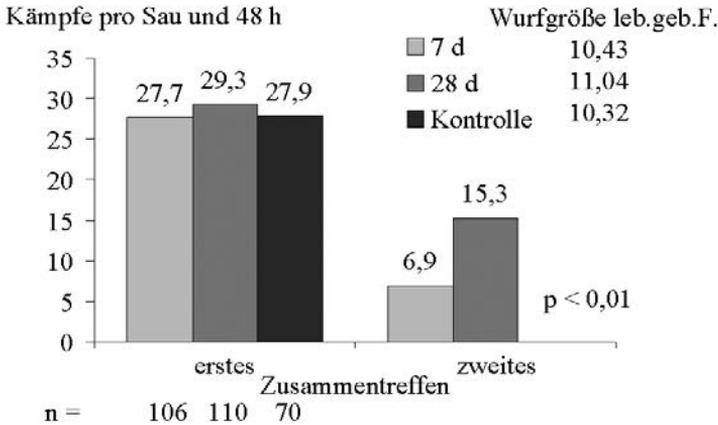


Abb. 1: Häufigkeit der Kämpfe von Sauen in 48 h nach erstmaligem und wiederholtem Zusammentreffen  
*Frequency of fights between sows during first and second mixing*

Anders war es bei den Sauen in der Gruppierungsbucht. Die 107 ranghohen Sauen rauschten deutlich früher und ausgeglichener als die 97 rangniederen Tiere. Die unterlegenen Tiere in der Gruppierungsbucht rauschten über einen halben Tag später als die rangniederen Tiere aus Einzelhaltung (Abb. 2).

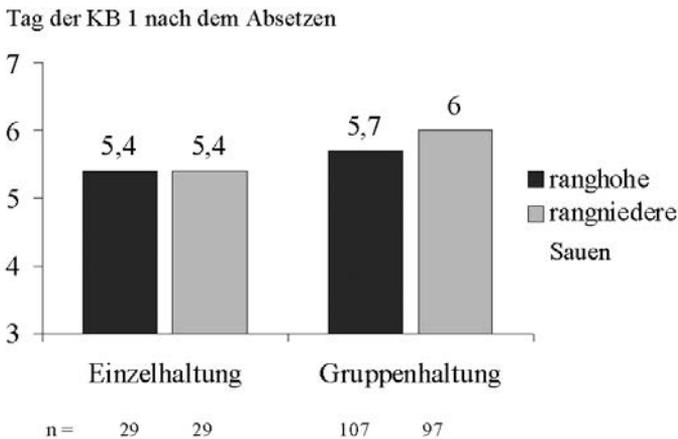


Abb. 2: Mittleres Absetz-Besamungs-Intervall bei Einzelhaltung (Besamungsstände) und Gruppenhaltung (Stimubucht) unter Beachtung der Rangordnung  
*Average weaning – insemination-interval in single housing or group housing (stimu-pen) of sows in relation to rank order*

Diese Ergebnisse betätigen die These, dass die rangniederen Sauen unter den gewählten Bedingungen (vier Tage Aufenthalt in der Gruppierungsbucht, kleine Gruppe, geringe soziale Distanz) einer Stresssituation ausgesetzt waren (ständige Nähe zu ranghöheren Tieren), die sich nachteilig auf das Rauschverhalten auswirkte. Für diese These spricht auch, dass ranghohe Sauen aus der Gruppenhaltung 0,7 lebend geborene Ferkel mehr pro Wurf als die

unterlegenen Sauen erreichten. Von den ranghohen Sauen rauschten lediglich 6,7 % der Tiere um, von den rangniederen 12,8 %. Dieses Ergebnis wurde zum Anlass genommen, die Gruppierung von Sauen unter dem Aspekt des Rangordnungsverhaltens zu optimieren.

Folgende Maßnahmen dazu werden vorgeschlagen:

- Anbieten von 3 m<sup>2</sup>/Sau (oder mehr – wenn vorhanden) beim Gruppieren,
- Einbau von Futterautomaten an den Seitenwänden (und nicht in Buchtenmitte), um maximale Ausweichdistanzen für die Sauen zu schaffen (Buchtendiagonale),
- Verkürzung der Gruppierungsdauer auf 2 Tage (anstelle von 4 Tagen) und
- Gruppierung der Sauen (wenn möglich) in größeren Gruppen (rangniedere Sauen können sich besser in der Gruppe „verstecken“).

Die Stimubucht kann nach den vorliegenden Ergebnissen wie folgt in die betrieblichen Abläufe eingeordnet werden:

- Umstellen der Sauen nach dem Absetzen der Ferkel in die Stimubucht (z. B. Donnerstagsmorgen)
- Aufenthalt in der Stimubucht über 2 Tage hinweg (z. B. bis Sonnabendmorgen)
  - in Betrieben mit Kombifeeder kann die Lauffläche zwischen einer zweireihigen Aufstallung als Stimubucht genutzt werden
- Umstellen der Sauen in Einzelbesamungsstände im (Profi-)Besamungszentrum und dulddungs- oder terminorientierte Besamung
  - Schließen der Kombifeeder-Stände bei Auftreten der ersten Rauschesymptome und dulddungs- oder terminorientierte Besamung
  - Öffnen der Stände nach Abschluss der Besamungen aller Sauen der jeweiligen Gruppe und Fortsetzung der Gruppenhaltung, d. h. Sauen bleiben nur während der Besamung im Stand fixiert (z. B. von Montag bis Donnerstag)
- Umstellung der Sauen mit nachgewiesener Trächtigkeit in die Gruppenhaltung im Wartestall spätestens ab 29. Trächtigkeitstag
  - tragende Sauen können entweder während der gesamten Trächtigkeit (bis eine Woche vor Abferkelung) in Kombifeedern in Gruppe gehalten werden oder werden nach festgestellter Trächtigkeit in den Wartestall in Gruppen (z. B. mit Fütterung am Quickfeeder) umgestellt.

## 4 Fazit

Um eine Gruppenhaltung tragender Sauen möglichst reibungslos verlaufen zu lassen, muss die Gruppenbildung optimal gemanagt werden. Die Gruppenbildung direkt nach dem Absetzen lässt die Rangordnungskämpfe zu einem Zeitpunkt ablaufen, an dem die Sauen weder tragend noch laktierend sind. Durch eine möglichst frühzeitige erneute Gruppenbildung, z. B. nach 7 Tagen Einzelhaltung, treten signifikant weniger Rangordnungskämpfe auf als nach einer Einzelhaltung der Sauen von 28 Tagen. Je länger der Zeitraum der Trennung andauert, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Sauen bei einer erneuten Begegnung untereinander wieder bekämpfen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass rangniedere Sauen Probleme mit Stresssituationen während der Gruppenbildungsphase haben und leistungsdepressiv darauf reagieren. Buchtengestaltung und Management sind z. B. durch eine Verkürzung der Zeitdauer bei der ersten Gruppierung von 4 auf 2 Tage, eine Buchtenvergrößerung von 2,5 auf 3 m<sup>2</sup> pro Sau und durch eine bessere Strukturierung der Bucht zu optimieren.

## 5 Literatur

BAUER, J.; HOY, St. (2002): Zur Häufigkeit von Rangordnungskämpfen beim ersten und wiederholten Zusammentreffen von Sauen zur Gruppenbildung KTBL-Schrift 418, 181–187.

GERTKEN, G.; KRIETER, J.; SCHLICHTING, M.; ERNST, E. (1993): Untersuchungen zur integrierten Sauenhaltung unter besonderer Berücksichtigung von Verhalten, Konstitution und Leistung. 2. Mitteilung: Konstitution und Leistung. Züchtungskunde 65, 188–194.

HOY, St.; LUTTER, C. (1995): Einfluss der Haltung der Sauen auf den Geburtsverlauf und die Vitalität der Ferkel. Tierärztl. Praxis 23, 367–372.

KLOCEK, C.; ERNST, E.; KALM, E. (1992): Geburtsverlauf bei Sauen und perinatale Ferkelverluste in Abhängigkeit von Genotyp und Haltungsform. Züchtungskunde 64, 121–128.

PUPPE, B. (1996): Soziale Dominanz- und Rangbeziehung beim Hausschwein: eine kritische Übersicht. Berl.Münch. Tierärztl. Wschr. 109, 457–464.

PUPPE, B.; TUCHSCHERER, M. (1994): Soziale Organisationsstrukturen beim intensiv gehaltenen Schwein. 3. Mitteilung: Ethologische Untersuchungen zur Rangordnung. Arch. Tierz., Dummerstorf 37, H. 3, 309–325.

TAUREG, S.; KRIETER, J.; ERNST, E. (1991): Untersuchungen zur Einzel- und Gruppenhaltung tragender Sauen unter besonderer Berücksichtigung von Leistung, Konstitution und Verhalten. 1. Mitteilung: Leistung und Konstitution als Parameter zur Beurteilung von Haltungsverfahren. Züchtungskunde 63, 469–478.

# Möglichkeiten zur technischen und tierbezogenen Beurteilung der Trittsicherheit von Stallfußböden beim Schwein

## *Assessment of pig flooring for sufficient footing by means of technical and biological indicators*

SVEN HÄUSER<sup>1</sup>, HANS-JOACHIM HERRMANN<sup>1</sup>, CLAUDIA MICHAEL<sup>2</sup>,  
EBERHARD VON BORELL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel, D-64823 Groß-Umstadt

<sup>2</sup> Institut für Tierzucht und Tierhaltung mit Tierklinik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Schlüsselwörter:** Trittsicherheit, Rutschfestigkeit, Gleitreibbeiwert  
**Keywords:** *Sufficient footing, slip resistance, sliding friction value*

### **Zusammenfassung**

„Rutschfestigkeit“ und „Trittsicherheit“ sind bei der Beurteilung tierbezogener Kriterien von Stallfußböden häufig verwendete Begriffe. Generell sollte zwischen einer technischen und materialbezogenen Überprüfung der Rutschfestigkeit – beispielsweise über die Ermittlung des Gleitreibbeiwertes  $\mu$  – und der am Tier beobachteten „Trittsicherheit“ unterscheiden werden. Um die Trittsicherheit von Stallfußböden messbar zu machen, wird derzeit vom DLG Testzentrum Technik & Betriebsmittel in Zusammenarbeit mit der Universität Halle-Wittenberg ein Testverfahren entwickelt, mit dem dieses Kriterium möglichst objektiv untersucht werden kann.

### **Summary**

Slip resistance and sufficient footing are important criteria for the assessment of flooring systems in animal housing. A distinction between a technical and material based testing (i. e. via measures of the sliding friction value  $\mu$ ) versus a biological test for sufficient footing through direct animal observations is in general advised. The German Agricultural Society (DLG) in collaboration with the University Halle-Wittenberg has recently developed a new testing procedure in order to measure and verify sufficient footing of flooring in pig housing.

## 1 Problemstellung

„Der Boden der Haltungseinrichtung muss im ganzen Aufenthaltsbereich der Schweine und in den Treibgängen rutschfest und trittsicher sein.“ – dieser Satz aus dem Entwurf der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung beschreibt die Anforderungen, denen Böden auch zukünftig gerecht werden müssen.

Die Rutschfestigkeit einerseits kann über eine technische Prüfung durch den Gleitreibbeiwert  $\mu$  beschrieben werden und wird in großem Maße vom Bodenmaterial beeinflusst.

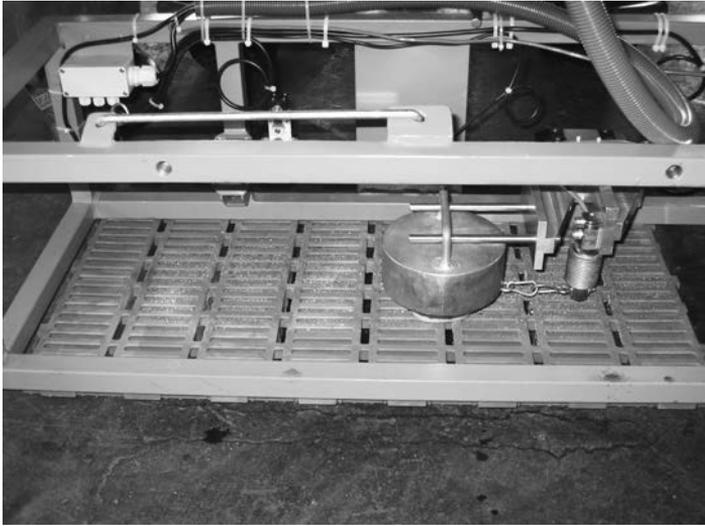


Abb. 1: Messung des Gleitreibbeiwertes  $\mu$

Bei der Beurteilung der Trittsicherheit hingegen sollten auch die Erfahrungen der Tiere auf dem jeweiligen Bodensystem einfließen. Hier spielen auch profilierte Oberflächen eine Rolle, die durch eingearbeitete Strukturen bzw. unterschiedliche Auftrittsebenen der sicheren Fortbewegung dienen sollen.

Die Beurteilung der Trittsicherheit beruht bislang überwiegend auf subjektiven Beurteilungsmethoden, die verlässliche Aussagen zur Tiergerechtigkeit von unterschiedlichen Stallfußböden erschweren. Auch die Untersuchungen zum Wahlverhalten von Schweinen haben in der Vergangenheit gezeigt, dass die Tiere nicht notwendigerweise solche Böden bevorzugen, die ihrer Klauengesundheit zuträglich sind (u. a. MARX und SCHUSTER, 1982).

### 1.1 Ziel

Ziel der Untersuchung ist die Entwicklung eines Prüfverfahrens, das eine möglichst objektive Beurteilung der Trittsicherheit bei Schweinen anhand gezielter Auswertungen des Tierverhaltens ermöglicht. Dies dient zur Absicherung bzw. Ergänzung der technischen Messung des Gleitreibbeiwertes  $\mu$ .

## 2 Material und Methode

In Anlehnung an das Funktionsprinzip des „Barfußtests“ auf der Schiefen Ebene (DIN 51097) wurde ein Hubtisch mit angehängter Schlepprampe modifiziert, auf dem der jeweils zu prüfende Stallboden aufgelegt wird. Die darauf eingestellte Tiergruppe (Ferkel, Mastschweine oder Sauen) hat die Möglichkeit, auf der Hubtischseite zwei Futterautomaten und rampenseitig zwei Tränken zu besuchen.



Abb. 2: Prüfstand in der Gesamtansicht



Abb. 3: Prüfstand bei Steigungsstufe 5

Mit dem Prüfstand ist es möglich, unterschiedliche Steigungswinkel einzustellen. Die Tiere bewegen sich auf dem zu prüfenden Boden, dessen Neigung im Rampenbereich nach einer zweitägigen Eingewöhnungsphase über 5 Stufen vom waagrechten Zustand bis zu einem Neigungswinkel von 20° verändert wird.

In der ersten Versuchsanstellung wurden fünf Ferkel auf zwei unterschiedlich perforierten Rosttypen aus Kunststoff (10 % und 40 % Schlitzanteil, nebeneinander ausgelegt) eingestallt und über zwei Videokameras beobachtet. Um ihren Futter- und Wasserbedarf zu decken, mussten die Tiere den Übergang von der waagerechten Hubtischfläche zur schräg werdenden Rampenfläche überwinden. Fress-, Ruhe und Fortbewegungsverhalten werden hierbei kontinuierlich aufgezeichnet und im Anschluss ausgewertet.

Die dabei erfassten Parameter wie z. B. Futterverbrauch, Ausrutsch- und Ausgrätschvorgänge, Zeitanteile für Ruheverhalten auf der Ebene/Schräge geben als indirekte Kriterien erste Hinweise auf die Bevorzugung eines Bodentyps.

### 3 Ergebnisse

Erste Untersuchungen wurden im Wiederholungsversuch auf einem Kombi-Boden aus Kunststoff mit 10 % (Typ I) bzw. 40 % Schlitzanteil (Typ II) durchgeführt. Durch die sehr aufwändige und umfassende Methodik sowie die Zahl der erfassten Parameter resultiert eine verlängerte Auswertungsperiode, die zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Schlussfolgerungen erlaubt.

Nachfolgendes Beispiel eines Auswertetages (n = 5 Schweine) zeigt die komplette Zusammenfassung der Verhaltensbeobachtungen von fünf Ferkeln an einem Beobachtungstag:

Tag: 26.02.2004

Steigungsstufe: 1 (Winkel: 2,26°)

Gesamtauswertedauer: 12 Stunden (7:00 – 19:00 Uhr)

	Rampe		Hubtisch	
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II
Stehen/Laufen/Spielen (in min)	43,05 (s = 7,12)	41,14 (s = 7,68)	23,10 (s = 12,9)	22,20 (s = 10,77)
Liegen				
Anzahl	12,8 (s = 4,6)	16 (s = 5,7)	0,8 (s = 1,79)	1,8 (s = 2,05)
Dauer (in min)	175,24 (s = 36,05)	194,31 (s = 62,11)	3,4 (s = 5,97)	18,25 (s = 19,72)
Fressen/Saufen				
Anzahl	6,2 (s = 3,7)	9,2 (s = 3,12)	13,6 (s = 3,97)	0,8 (s = 1,3)
Dauer (in min)	43,26 (s = 19,63)	143,05 (s = 48,85)	6,32 (s = 1,95)	0,44 (s = 0,89)
ausrutschen (Anzahl)	0,4 (s = 0,55)			
Anzahl Wechsel				
Typ I - Typ II	125,4 (s = 59,78)		58 (s = 28,49)	
Hubtisch -Rampe	73,6 (s = 55,1)			

Aufenthaltsdauer in %

	Rampe		Hubtisch	
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II
Stehen/Laufen/Spielen	5,98	5,71	3,21	3,08
Liegen	24,34	26,99	0,74	2,53
Fressen/Saufen	6,01	19,87	0,88	0,06

Es wird ersichtlich, dass bei dieser Steigungsstufe keine eindeutige Bevorzugung eines Bodentyps erfolgt. Auch wurden keine nennenswerten Ausrutschvorgänge beobachtet. Die vermehrte Nahrungsaufnahme an den Automaten auf dem Bodentyp II muss erst im Wiederholungsversuch, bei anderen Steigungsstufen sowie nach dem Seitenwechsel der Böden bestätigt werden.

#### 4 Ausblick

Kurzfristig werden die aufgezeichneten Tage und Wiederholungsversuche nach gleichem Schema vollständig ausgewertet und statistisch abgesichert. Zudem komplettieren Klauenbonitierungen den Untersuchungsumfang.

In weiteren Untersuchungen sollen automatisierte Auswertungsmethoden zur Anwendung kommen, um das Prüfverfahren effizienter zu gestalten. Mittels Videobildanalyse (Video-Tracking, EthoVision Color Pro – Noldus Information Technology, Freiburg) können so die zurückgelegten Strecken der markierten Tiere aufgezeichnet, zugeordnet und automatisch ausgewertet werden.

#### 5 Literatur

AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2001): Richtlinie 2001/93/EG der Kommission vom 9. November 2001.

MARX, D.; SCHUSTER, H. (1982): Ethologische Wahlversuche mit frühabgesetzten Ferkeln – 2. Mitteilung: Ergebnisse des zweiten Abschnitts der Untersuchungen zur tiergerechten Fußbodengestaltung. Dtsch. tierärztl. Wschr. 89, 313–318.

MULITZE, P. (1989): Die Bestimmung der Trittsicherheit perforierter Stallfußböden für die Schweinehaltung. Dissertation, Fachbereich Agrarwissenschaften, Justus-Liebig-Universität Gießen.

DIN 51097: Prüfung von Bodenbelägen, Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft, Behebungsverfahren – schiefe Ebene; Deutsches Institut für Normung e.V., November 1992.



## Geräuschpegelmessungen bei unterschiedlichen Stallfußböden in der Ferkelaufzucht

### *Measurement of sound level on different floors in piglet housing*

BERND LEHMANN<sup>1</sup>, MATTHIAS ROSE<sup>2</sup>, JOCHEN BAUMEISTER<sup>1</sup>, MICHAEL KLINDWORTH<sup>1</sup>, HANS-JOACHIM HERRMANN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, D-49090 Osnabrück

<sup>2</sup> Institut für Landtechnik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, D-53115 Bonn

<sup>3</sup> DLG-Prüfstelle für Landmaschinen, D-64823 Groß-Umstadt

**Schlüsselwörter:** Geräuschpegelmessung, Stallböden, Ferkelaufzucht

**Keywords:** *Sound level, stable-floors, piglets*

### **Zusammenfassung**

Zur Einordnung von Stallböden bei strohloser Ferkelaufzucht wurden Geräuschpegelmessungen auf sechs Praxisbetrieben durchgeführt. Die untersuchten Ferkelaufzuchtställe waren mit handelsüblichen Kunststoffrosten ausgestattet, zwei Ställe zusätzlich auch mit Betonspaltenböden.

Die Trittschall- und Dauerschallmessungen haben gezeigt, dass:

- bezüglich des Schallpegels Unterschiede zwischen den untersuchten Böden bestanden,
- der Trittschall bei induzierter Aktivität (Aufschrecken der Tiere) durch die Fußbodengestaltung (Unterzüge, Hohlprofile) und das Gewicht der Tiere beeinflusst wurde (Werte zwischen 81,9 dB(A) und 87,3 dB(A)),
- die Dauerschallmessungen in einem Bereich zwischen 62 dB(A) bis 72,3 dB(A) lagen und
- beim Eintreten in die Stallabteile kurzzeitig höhere Schallpegel auftraten (77,5 dB(A) bis 85,5 dB(A))

### **Summary**

Measurements of sound level were realised on six practical farms with different stable-floors for piglets without litter. The investigated pig rearing houses were equipped with commercially available plastic slats, two stables had slatted floors additionally. The results of the measurements of food step sound and sound level showed, that

- the sound level was different between the investigated floors,
- the food step sound, which can result from an induced activity (scaring up the animals) depended on the conditions of the floor (hollow body) and body weight of the piglets (values varied between 81.9 dB(A) and 87.3 dB(A)),
- the sound level was in a range of 62 dB(A) to 72.3 dB(A) and
- for the foot step sound at the moment of opening and entering the compartment higher values were measured (77.5 dB(A) to 85.5 dB(A)).

## 1 Einleitung

Wechselwirkungen zwischen Stalleinrichtungen und dem Wohlbefinden landwirtschaftlicher Nutztiere sind ein bedeutendes Thema im Spannungsfeld zwischen effizienten Haltungsverfahren und gesellschaftlichen Ansprüchen. In diesem Zusammenhang stellt der Geräuschpegel in einem Stallsystem einen wichtigen Parameter dar. Neben häufig genannten Geräuschquellen wie Ventilatoren, Fütterungsanlagen, aber auch die Lautäußerungen der Tiere selbst, stellt der Stallfußboden eine Geräuschquelle dar. Der hier erzeugte Trittschall entsteht durch die Bewegungsaktivitäten der Tiere. In Zusammenarbeit mit der DLG sollte daher untersucht werden, auf welchem Niveau und mit welcher Intensität Trittschall auf verschiedenen Böden erzeugt wird.

## 2 Material und Methode

Die Schallmessungen wurden in sechs verschiedenen Ferkelaufzuchtställen durchgeführt. Wesentliche Kriterien für die Auswahl der untersuchten Ställe waren dabei:

- praxisübliche, moderne Stallanlagen
- Bodenfläche mit handelsüblichen und unterschiedlichen Kunststoffrosten
- möglichst gleiche Anzahl Tiere pro Stall
- geringe Fremdgeräusche in unmittelbarer Umgebung

Die ausgewählten Ställe verfügten über 850 bis 1200 Ferkelplätze, wobei alle Ställe mit Kunststoffrosten und zwei zusätzlich mit Betonspaltenböden ausgelegt waren.

Mit Hilfe eines mobilen Schallpegelmessgerätes (IdB Noise Indicator, Fa. Wölfel) wurden jeweils die vier Situationen

- leerer Stall
  - Dauerschall-Pegelmessung
  - Schallpegel beim Eintritt in die Abteile
  - Trittschall bei induzierter Aktivität (Aufschrecken)
- erfasst.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Schallpegelmessung im leeren Stallabteil

Die auf vier Betrieben durchgeführten Schallpegelmessungen in leeren Ferkelabteilen wiesen Werte in Höhe von 33 dB(A) bis 52,5 dB(A) auf. Sowohl die Geräusche der betriebsspezifischen technischen Einrichtungen (Ventilatoren, Konvektoren etc.) als auch Lautäußerungen der Tiere aus benachbarten Abteilen führten z. T. zu den unterschiedlichen Ergebnissen.

### 3.2 Dauerschall-Pegelmessung

Die Messungen des Dauerschallpegels, die unter praxisüblichen Bedingungen in einem Zeitraum von bis zu 2 Stunden durchgeführt wurden, ergaben Werte zwischen 62 dB(A)

und 72,3 dB(A). In Abbildung 1 ist für den Ferkelaufzuchtstall E der Verlauf der Dauerschallpegelmessung über einen Zeitraum von einer Stunde dargestellt. Die Messungen erfolgten am 13.01.2003 im Abteil 1 (8 Buchten) in der Zeit von 16:30 Uhr bis 17:30 Uhr. Insgesamt wurden 302 Einzelmesswerte erhoben. Im Abteil befanden sich an dem Untersuchungstag insgesamt 147 Tiere mit einem durchschnittlichen Lebendgewicht von 27,1 kg.

Der durchschnittliche Dauerschallpegel für den angegebenen Zeitraum betrug 72,3 dB(A). Die erfassten Werte, die in den ersten 15 Minuten des Messzeitraumes größer als 74 dB(A) sind, lassen sich vor allem auf das Spielen einiger Ferkel mit einer Kette zurückführen. Dabei wurden die Ketten häufig gegen eine Buchtenwand geschleudert, so dass es zu Ausschlägen in der Aufzeichnung im Verlauf des Dauerschalls kam. Einzelne erhöhte Werte im restlichen Verlauf der Messung wurden vor allem durch das wiederholte „Quieken“ einzelner Ferkel verursacht. Von etwa 16:43 Uhr bis 16:50 Uhr lief die Förderkette, welche die Breiautomaten mit Futter beschickte. Dabei wurde ein charakteristisches Schleifgeräusch der Kette verursacht. Dieses Geräusch, akkumuliert mit den weiteren Stallgeräuschen, führte zu einem deutlich höheren Schallpegel als im übrigen Zeitabschnitt.

Die Ferkel waren im Messzeitraum überwiegend aktiv. Nur in der Zeit von etwa 17:00 Uhr bis 17:15 Uhr legten sich bis zu 50 % der Tiere in den Buchten nieder. Über die gesamte Zeit wurden alle vier Breiautomaten aufgesucht und betätigt.

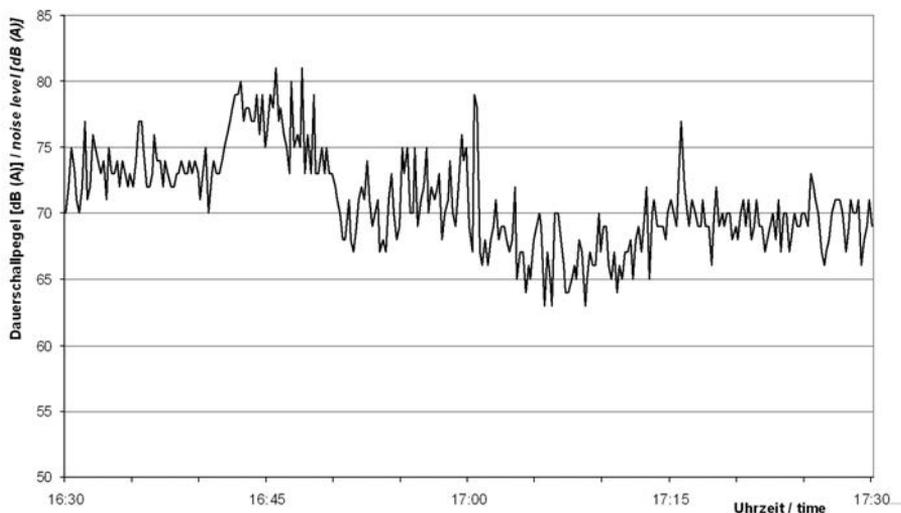


Abb. 1: Verlauf des Dauerschallpegels Abteil 1, Stall E (Messdauer 1 Stunde, n = 302)  
*Continuous measurement of noise in compartment 1, farm E (interval 1 hour, n = 302)*

### 3.3 Schallpegelmessung beim Eintritt in die Abteile

Beim Öffnen und Betreten der Stallabteile war zu beobachten, dass sich die Tiere nach einem kurzen Aufschrecken in Richtung der plötzlichen Geräuschquelle ausrichteten. Es kam zu Schreck- und Fluchtreaktionen, die sich vor allem durch das Aufspringen und durch eine

schnelle und kurze Vorwärtsbewegung der Ferkel äußerte. Daher beziehen sich die Schallpegelwerte hier jeweils auf einige wenige Sekunden (ca. 2 Sekunden).

Die durchschnittlichen Schallpegel sowie die Einzelwerte der Wiederholungen beim Eintritt in die verschiedenen Abteile sind für den Ferkelaufzuchtstall A in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Schallpegel beim Eintritt in die Abteile im Stall A (jeweils 3 Wiederholungen in Abständen von 15 Minuten, 19.11.2002)

*Foot step sound at the moment of opening and entering the compartments in stable A (three repetitions after breaks of 15 minutes, 19.11.2002)*

	Anzahl Ferkel [n] <i>amount of piglets [n]</i>	Ø Gewicht [kg] <i>Ø weight [kg]</i>	Schallpegel [dB (A)] <i>sound level [dB (A)]</i>			Ø Schallpegel [dB (A)] <i>Ø sound level [dB (A)]</i>
			Wiederholung / repetition			
			1.	2.	3.	
Abteil 1 / <i>compartment 1</i>	189	19	76	83	74	77,7
Abteil 2 / <i>compartment 2</i>	221	24	88	84	82	84,7
Abteil 3 / <i>compartment 3</i>	200	8	80	82	78	80,0
Abteil 6 / <i>compartment 4</i>	101	7	78	81	76	78,3

Für den durchschnittlichen Schallpegel beim Eintritt in ein Abteil wurden für die einzelnen Abteile ähnlich hohe Werte gemessen. Bei Betrachtung der Schallpegelwerte der Wiederholungen fällt auf, dass die lauteste Schreckreaktion der Tiere nicht immer beim ersten Eintritt in das Abteil erzeugt wurde, sondern auch beim zweiten oder dritten Mal aufgetreten ist. Es ist also davon auszugehen, dass sich die Ferkel in der relativ kurzen Pausenzeit von 15 Minuten zwischen den Wiederholungen nicht an das wiederholte Öffnen und Betreten der Abteile gewöhnt hatten.

### 3.4 Trittschallmessung bei induzierter Aktivität

Um den maximal möglichen Schallpegel des Stallfußbodens zu erfassen, der durch die Tritte der Tiere verursacht wird, erfolgte ein gezieltes und geräuschloses Aufschrecken und Treiben der Tiere. Durch schnelle Vorwärtsbewegungen der Messperson in der Bucht wurde das Fluchtverhalten der Tiere hervorgerufen. Damit war es möglich alle Tiere zuerst in eine Ecke, anschließend in die gegenüberliegende Ecke zu treiben. Hierbei bewegten sich alle oder mindestens mehr als 95 % der Ferkel in fluchtartiger Vorwärtsbewegung. Da sich die Ferkel immer nur für sehr kurze Zeit in Bewegung befanden, beziehen sich die Trittschallergebnisse auf jeweils einen Zeitraum von etwa 2 Sekunden. Für die Auswertung der Trittschallmessung konnten insgesamt 752 Einzelwerte einbezogen werden. Aus diesen Werten wurden stall-spezifische Mittelwerte gebildet, die in einem Bereich von 81,9 dB(A) und 87,3 dB(A) lagen.

### 3.5 Ergebnisse zur Schallpegelmessung Ferkelaufzuchtstall B

In Abbildung 2 sind für den Ferkelaufzuchtstall B, bei dem ausschließlich Kunststoffroste in den Abteilen vorhanden sind, die Ergebnisse zur Schallpegelmessung der jeweils erfassten Situationen dargestellt.

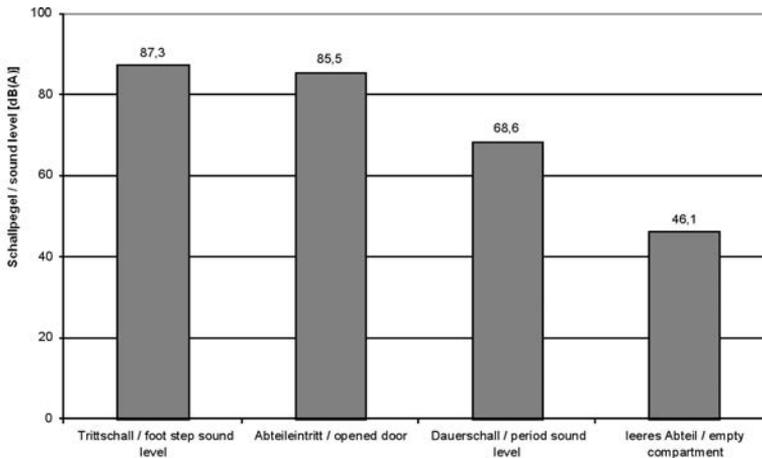


Abb. 2: Durchschnittliche Schallpegel bei vier unterschiedlichen Situationen im Ferkelaufzuchtstall B (ausschließlich Kunststoffroste im Abteil)  
*Results of the sound level of four different situations in stable B (only plastic floors in compartments)*

Im Stall B wurde bei induzierter Aktivität der Tiere ein durchschnittlicher Schallpegel von 87,3 dB(A) gemessen. Dagegen wurde beim Eintritt in das Abteil kurzzeitig ein mittlerer Schallpegel von 85,5dB(A) erfasst. Der Dauerschallpegel lag bei dem untersuchten Abteil (87 Ferkel, Durchschnittsgewicht 5,8 kg) bei 68,6 dB(A). Der gemittelte Schallpegel im leeren und gereinigten Abteil betrug 46,1 dB(A). Hier konnten Lautäußerungen von Tieren aus dem Nachbarabteil wahrgenommen werden, während Ventilatorengeräusche nicht zu hören waren.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Dauerschallbelastung, die unter praxisüblichen Bedingungen erfasst wurde, lag bei allen Ställen deutlich unter den Ergebnissen der Trittschallmessungen. Bei den Trittschallmessungen traten jedoch kurzzeitig hohe Schallpegel auf (> 85 dB(A)). Die Dauerschallpegel der leeren und belegten Abteile lagen nach dem derzeitigen Kenntnisstand in einem für den Menschen unkritischen Bereich.

Die Intensität des Trittschalls, der durch die Ferkel bei Bewegungsaktivität hervorgerufen wird, hängt von mehreren Parametern ab. Neben dem Gewicht, Anzahl der Tiere und deren Schreckhaftigkeit stellen der räumliche Aufbau der Ställe sowie die Fußbodengestaltung (Unterzüge und Thermoplattenelemente) wichtige Einflussgrößen dar. Durch konstruktive

Verbesserungen bei den stabilisierenden Unterzügen der Böden könnte hier eine deutliche Reduktion des Schallpegels erreicht werden.

## 5 Literatur

HÄUSER, S.; HERRMANN, H.-J.; ROSE, M. (2003): Geräuschpegelmessung als Kriterium zur Bewertung der Tiergerechtigkeit von Stallfußböden. In: Tagungsband zur 6. Internationalen Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 25.–27. März 2003. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, S. 178–182.

RICHTLINIE 2001/93/EG: Zur Änderung der Richtlinie 91/630/EWG über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen.

SCHÄFFER, D.; MARQUARD, V.; MARX, G.; BORELL, E. V. (2001): Lärm in der Nutztierhaltung – eine Übersicht unter besonderer Berücksichtigung der Schweinehaltung. In: Deutsche Tierärztliche Wochenzeitschrift 108 (2), S. 60–66.

SPENSLEY, J. C.; LINES, J. A.; HARTUNG, J.; WARAN, N. K. (1994): The effect of noise on individual piglets. In: Applied Animal Behaviour Science 41, S. 278.

# Stallklimascreening, ein wirksames Element zur Reduzierung prädisponierender Faktoren im Gesundheitsmanagement beim Schwein

## *Controlled environment in pighousing – a tool for health management*

MANFRED WEBER<sup>1</sup>, EIKE KRUG<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden, Lindenstraße 18, D-39606 Iden

<sup>2</sup> Erzeugergemeinschaft Altmark Schwein, Salzwedelerstraße 28, D-29413 Dähre

**Schlüsselwörter:** Stallklima, Schwein, Gesundheitsmanagement  
**Keywords:** *Controlled environment, pig, health management*

### **Zusammenfassung**

Das Stallklima, das einen wichtigen prädisponierenden Faktor der Entstehung von Atemwegserkrankungen darstellt, wurde in dieser Studie in 22 Betrieben der Erzeugergemeinschaft Altmark überprüft. Ausschlaggebend dafür war die hohe Zahl an geschädigten Lungen der durch die Al-Fer Handels GmbH geschlachteten Mastschweine. Der Prozentsatz lag im Jahreschnitt bei ca. 20 %.

In die Kontrolle wurden einbezogen: Lüftungstechnische Anlagen, Lüftungssteuerung und Luftqualität. Insgesamt wurden 28 Mastschweineställe, 10 Ferkelaufzuchtställe und 5 Abferkelställe überprüft.

Im Bereich „Lüftungstechnische Anlagen“ wiesen vor allem die Zuluftsysteme deutliche Mängel auf. So mussten für 50 % der Ställe mit Rieseldeckensystemen Beanstandungen vorgenommen werden. Für das System Futterganglüftung waren es nur 15 % und für das System Strahl Lüftung sogar 75 %. Ähnliche Ergebnisse zeigte die Überprüfung der Lüftungstechnischen Einstellungen am Lüftungsrechner. Nur 48% der begutachteten Systeme waren korrekt eingestellt. Hauptsächlich lagen die Fehler in Einstellungen der Raumtemperatur, dem Regelbereich und den Minimalluftstraten.

Die Luftqualität in den Ställen war ebenfalls sehr unterschiedlich. Betrachtet man den Schadstoff Ammoniak und den Kohlendioxidwert, wurden in 45 % aller Messungen die von uns bei 20 ppm Ammoniak und 2000 ppm Kohlendioxid gesetzten Grenzwerte überschritten.

### **Summary**

In our investigation we tried to point up the status quo of the controlled environment in pig houses. In 22 farms we inspected 28 fattening houses, 10 piglet houses and 5 farrowing houses.

In over 50 % of all inspected Systems, we found faults in the technical function or the handling of regulation. Mostly we find faults in regulation of the pig house temperature or the amount of fresh air. In consequence to this fact, we noticed rates over 20 ppm Ammonia and 2000 ppm Carbon dioxide in 45 % of our measurements.

## 1 Einleitung

Eine hohe Tiergesundheit ist nicht nur ein nach ethischen Gesichtspunkten anzustrebendes Ziel in der Tierhaltung, sondern beeinflusst auch in hohem Maße die Wirtschaftlichkeit dieses Sektors. Neben der Gesunderhaltung des Gastrointestinaltraktes ist dabei vor allem auf eine optimale Gesundheit der Atemwegsorgane zu achten. Neben den biotischen Faktoren, die zu einer Störung der Atemwegsfunktionen führen können, verursachen in vielen Betrieben die abiotischen Einflussgrößen und hier in erster Linie das Stallklima Atemwegsprobleme.

Das Stallklima, besser, da es der Definition aus der Wetterkunde näher kommt, Stallwetter, übt dadurch, dass die Schweine ihm in der modernen Stallhaltung nicht entfliehen können, einen starken Einfluss auf die Leistungen und Gesundheit der Tiere aus. Die dazu bisher gemachten Untersuchungen zeigen diesen Trend deutlich auf.

Ausgehend von den Ergebnissen von EGER und AMTHOR (2002) sollten auch in dieser Studie in erster Linie die Mast- und Ferkelaufzuchtställe näher betrachtet werden. Eine Begrenzung auf maximal 25 Betriebe ließ die Ausweitung der Untersuchungen, ausgehend von der Erfassung der Luftqualität und der Lüftungstechnischen Anlagen, auf eine Einbeziehung der steuer- und regeltechnischen Bereiche zu. Direkt zu behebende Schwachpunkte wurden vor Ort angesprochen und korrigiert. Die Studie versteht sich als eine zusammenfassende Schwachstellenanalyse zum Thema Stallklima in Betrieben der Erzeugergemeinschaft Altmark.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Lüftungstechnische Anlage

In die Kontrolle wurden einbezogen: Zuluftsysteme, Abluftventilatoren, Heizungssystem, Temperaturerfassung. Durch die Vielfalt der Zuluftsysteme war es notwendig bei der Inspektion unterschiedliche Kriterien zu erfassen. Bei den Systemen mit Rieseldecke bzw. Rieselkanälen war es notwendig in erster Linie die Ausführung und Leckagen zu beurteilen. Aber auch auf die Anbringung und den Verschmutzungsgrad musste geachtet werden. Eine Überprüfung des Durchsatzes der Elemente war in diesem Screening auf Grund des hohen Aufwandes nicht möglich. Die Beurteilung der Luftverteilung war ein weiterer Punkt zur Beurteilung des Zuluftsystems.

Beim System Futterganglüftung wurde neben einer Kontrolle der Zuluftöffnung die Luftgeschwindigkeit überprüft, die aber vor allem im Sommer zu Problemen führen kann. Hinzu kommt die Anordnung der Heizung und das Strömungsbild der Frischluft. Die Luftenlassklappen sollten bei der Strahl Lüftung im Vordergrund der Kontrollen stehen. Zudem das Verhältnis der Höhe zu Breite des Stalles. Wichtig ist auch die Überprüfung der Luftverteilung mittels Nebelprobe.

### 2.2 Lüftungssteuerung

Die Steuerung der Lüftungsanlage ist jeweils abhängig vom vorhandenen Prozessrechner. Grundlegende Einstellungen wie Solltemperatur, minimale bzw. maximale Lüfterleistung, Regelbereiche (Temperaturspreizung) und Heizkontakt-einstellungen sind aber mittlerweile

mit fast allen Regelgeräten machbar. Diese wurden hinsichtlich ihrer Einstellung überprüft. Im Falle der Möglichkeit von einzustellenden Temperaturkurven wurde diese auch mit den Empfehlungen verglichen. Abgeschlossen wurde dieser Punkt mit der Feststellung der Kenntnisse des bedienenden Personal in Bezug auf die Lüftungssteuerung.

## 2.3 Luftqualität

Für den Zweck eines Screenings eignen sich vor allem die Schadgase Ammoniak, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff zur Charakterisierung der Luftqualität. Hiermit lassen sich Mängel in der Frischluftversorgung und damit direkt krankheitsfördernde bzw. leistungshemmende Luftinhaltsstoffe erkennen.

Zur Messung der drei Gase wurden Messröhrchen der Firma Draeger verwandt. Die Genauigkeit reicht aus, um gute, mittlere und schlechte Stallluft voneinander zu unterscheiden.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Lüftungstechnische Anlagen

#### 3.1.1 Rieseldecke/Rieselkanäle

In Abbildung 1 ist die Bewertung der untersuchten Zuluftsysteme Rieseldecke/ Rieselkanal dargestellt. Hauptsächlich traten hier Leckagen, Verschmutzungen und zu geringe Lufteinlassöffnungen auf. Wie in Abbildung 2 zu erkennen führten auch ungewollte Lufteintritte zur Abwertung des Systems.

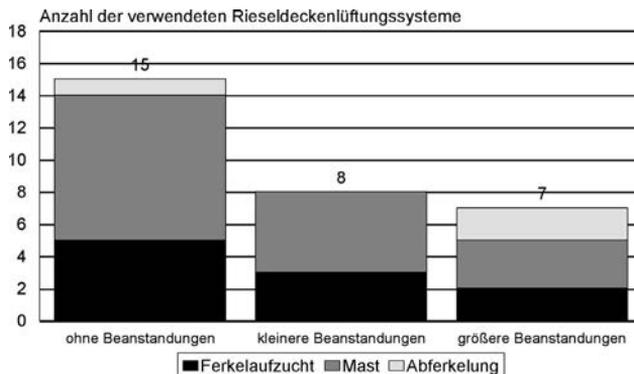


Abb. 1: Beurteilung des Systems Rieseldecke/Rieselkanal



Abb. 2: Ungewollter Falschluft eintritt durch die Tür

### 3.1.2 Türganglüftung

Wie in Abbildung 3 zu erkennen, hat die überwiegende Zahl der Futterganglüftungen ohne Störungen funktioniert. Die Dimensionierung der Türöffnungen waren in allen Fällen ausreichend. In einem Stall reichte die Höhe der Buchtenwände aber nicht aus, so dass der Türausschnitt höher als die Buchtenwände war.

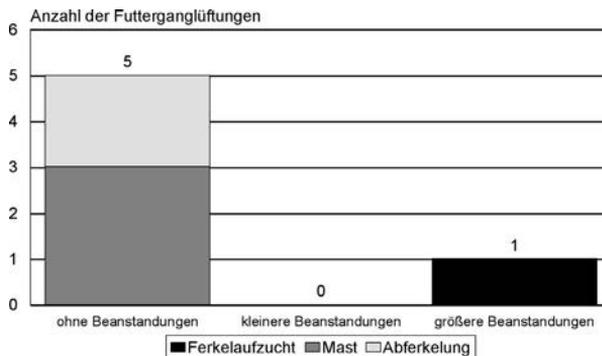


Abb. 3: Beurteilung des Systems Futterganglüftung

### 3.1.3 Strahlungslüftung

Die Strahlungslüftung findet in den untersuchten Betrieben nur in der Schweinemast Anwendung. Die Beurteilung des Systems ist aus Abbildung 4 zu ersehen. In den zwei Ställen ohne Beanstandungen waren alle Einlassventile voll funktionsfähig und das Verhältnis von Stallhöhe und Stallbreite stimmten. Kleinere Probleme können in Ställen mit Strahlungslüftung auftreten, wenn vor den Einlassventilen keine Windabweiser angebracht sind. In exponierten Lagen ist der Impuls dann oft so groß, dass im Stall sehr hohe Luftgeschwindigkeiten herrschen und es zu

Erkrankungen von Tieren kommen kann. Größere Probleme dagegen machen defekte Einlassöffnungen. Es ergibt sich dann eine sehr ungleichmäßige Frischluftverteilung in den Ställen.

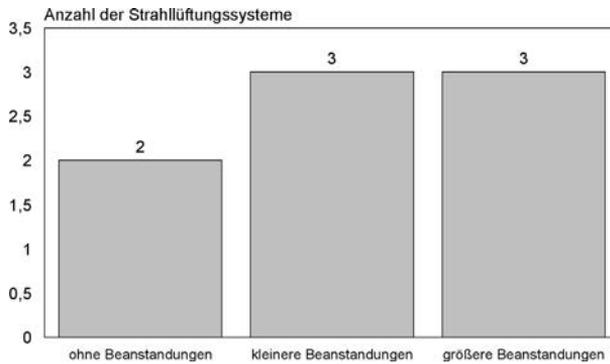


Abb. 4: Beurteilung des Systems Strahlungslüftung

### 3.2 Lüftungssteuerung

Etwa in der Hälfte der untersuchten Ställe waren die Regeleinstellungen (Temperatur, Spreizung, Heizung, Minimal-Maximalluft rate) in bester Ordnung. 11 mal wurde vor allem von der Temperaturempfehlung abgewichen und in 10 Ställen traten deutliche Fehleinstellungen auf (Abbildung 5). In den 10 Ställen mit größeren Beanstandungen war vor allem eine zu geringe Luftrate in Verbindung mit falschen Temperaturen und falschen Minimal bzw. Maximalbegrenzungen der Ventilation zu erkennen. Ein hoher Zusammenhang bestand zwischen der Qualität der Einstellungen und den Kenntnissen des Stallpersonals. Immerhin waren in 8 der 22 untersuchten Betrieben die Kenntnisse in Bezug auf Lüftung und Lüftungssteuerung mangelhaft. Hauptkritikpunkte war die Unkenntnis der Funktionsweise der Prozessrechner. Häufig waren nicht einmal mehr Bedienungsanleitungen vorhanden. Aber auch die Bedeutung der einzu-stellenden Parameter waren in diesen Betrieben dem tierbetreuenden Personal nicht geläufig.

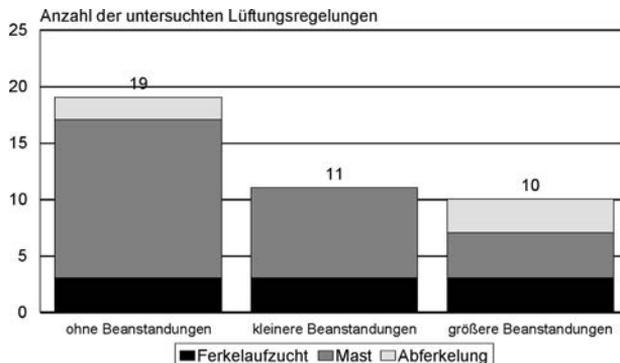


Abb. 5: Beurteilung der Steuerungseinstellungen

### 3.3 Luftqualität

Wie Tabelle 1 zeigt konnten in der Wintersituation in etwa der Hälfte der Betriebe akzeptable Schadstoffkonzentrationen in der Stallluft festgestellt werden. Aber in gleicher Größenordnung ergaben sich Messungen mit überhöhten Ammoniak und Kohlendioxidwerten.

Tab. 1: Verteilung der Schadgasmessungen

Parameter	Anteil der Messungen
Ammoniak	
< 15 ppm	45 %
15–20 ppm	10 %
> 20 ppm	45 %
Kohlendioxid	
< 1500 ppm	44 %
1500–2000 ppm	12 %
> 2000 ppm	44 %

Abschließend bleibt festzuhalten, dass Fehler, die zu schlechtem Stallklima führen nicht in erster Linie im Lüftungssystem an sich zu suchen sind, sondern der Ausführung, der Instandhaltung und der Bedienung geschuldet sind. In vielen Fällen bedarf es dringend einer grundlegenden Schulung des Bedienpersonals und nur die regelmäßige Überprüfung des Lüftungssystems (z. B. anhand von Checklisten) gewährleistet eine reibungslose Funktion. Die ausführliche Studie ist im Internet unter <http://www.die-altmark-mittendrin.de/regioaktiv/projekte/krug.htm> zu finden.

## 4 Literatur

BARTUSSEK, H.; STEINWIDDER, A.; HAUSLEITNER, A.; GASTEINER, J.; SCHAUER, A.; GUGGENBERGER, T. (2001): Die Auswirkung schlechter Stallluft als Folge geringer Luftraten auf Mastleistung und Gesundheit von Mastschweinen.

Proc. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2001, Hohenheim, S. 320–324.

BOSSOW, H. (2000): Stallwetterkontrolle – Bedeutung für Praxis Tier und menschliche Gesundheit <http://www.bossow.de/schweine/Bibliothek/Texte/Stallwetterkontrolle.htm>.

BÜSCHER, W.; LEUSCHNER, P.; NIETHAMMER, F. (1996): Lüftung von Schweineställen. AID-Heft 1067, Bonn.

EGER, S.; AMTHOR, A. (2002): Wo es beim Stallklima noch klemmt. dlz 11/2002, S. 116–120.

HOY, St. (1994): Zu den Auswirkungen von Atemwegserkrankungen auf die Mast- und Fruchtbarkeitsleistungen der Schweine. Der praktische Tierarzt, 1994, 2, S. 121–127.

## Effects of rearing until weaning and sire on growth and milk production in dairy cows

### *Einfluss der Aufzucht bis zum Absetzen und des Zuchtbullen auf Wachstum und Milchleistung bei Milchkühen*

JAN BROUČEK, STEFAN MIHINA, PETER KISAC, MICHAEL UHRINCAT, ANTON HANUS, FRANTISEK BENC, VLADIMIR FOLTYS

Research Institute of Animal production, 94992 Nitra, P.O. Box 30 c, Slovak Republic

**Keywords:** Dairy cows, rearing, sire, growth, milk production

**Schlüsselwörter:** Milchkühe, Aufzucht, Vater, Wachstum, Milchleistung

### **Summary**

*Analyses showed clear evidence that method of rearing dairy cows from the second week of life to weaning and their sire influence growth, production and composition of milk during the first lactation.*

*The highest live body weight and milk production were found in cows reared during milk-feeding period by nursing cows. The lowest live body weight and milk production was recorded in cows which were fed until weaning by milk automate. These results demonstrate that system of heifers rearing is an important determinant of milk production during the first lactation.*

*Comparing animals descended from different sires significant differences in the milk performance were found: Sire lineage determined milk production, contents of fat, protein, lactose, non fat solids and total solids, production of protein, lactose, and non fat solids.*

### **Zusammenfassung**

*Untersuchungen ergaben, dass sowohl die Art der Aufzucht von der zweiten Lebenswoche bis zum Absetzen als auch der Vater deutlich das Wachstum der Färsen, die Milchproduktion und die Zusammensetzung der Milch in der ersten Laktation beeinflussen.*

*Die größte Lebendmasse und stärkste Milchproduktion wies die Gruppe auf, die während der Milch-Fütterungsphase durch Ammenkühe aufgezogen wurde. Das niedrigste Lebendgewicht und geringste Milchleistung zeigten Kühe die mit Milchautomaten aufgezogen wurden. Die Resultate zeigen, dass das Aufzuchtssystem für Färsen eine wichtige Determinante der Milchproduktion während der ersten Laktation ist.*

*Im Vergleich von Tieren unterschiedlicher Väter wurden ebenfalls signifikante Unterschiede in der Milchproduktion nachgewiesen: Die Abstammung vom Zuchtbullen beeinflusst Milchleistung, den Gehalt an Fett, Proteinen, Laktose, fettfreier Trockensubstanz und Gesamttrockensubstanz.*

## 1 Introduction

In current agriculture, the farm animals should be kept in harmony with their physiological and safety needs and should manifest natural behavior. We can suggest five critical spheres: relationship of mother and calf, life in the group of animals of the same age, motion possibility, manner of milk drinking, friendly environment, etc.

Dairy cows are the only mammalian domestic livestock that are routinely separated from their offspring immediately after giving birth. The mutual bond between mother and descendant is violently interrupted. The early separation of dam and calf is likely to have negative implications on the health, e. g. poor udder health, endemic calf diseases, high susceptibility to stress and disease, and instability of social structures in the herd (ALBRIGHT and ARAVE, 1997).

Calves may be housed in groups or in individual pens, kept under conditions ranging from complete environmental control to minimal shelter, and provided with a wide range of space per animal. A good heifer housing facility can help provide well-grown replacement animals ready to enter the milking herd at 24 months of age (HEINRICHS et al., 1994).

Heifers reared during the milk-feeding period in isolation produced significantly more milk than heifers from grouped housing (ARAVE et al., 1985). In a similar experiment using monozygous twins ARAVE et al. (1992) found that pre-weaning isolation affected growth, but did not affect first lactation milk yield. Except of manner of rearing can effect on milk production also genetical factors, especially sire lineage (HAYES, 2003)

The aim of this experiment was to study effects which affected during rearing of dairy heifers on their live body weight and milk production in the first lactation.

## 2 Material and Methods

We tested hypotheses that the live body weight and milk efficiency are impacted by the method of rearing from the second week of life to weaning (factor R) and the sire lineage (factor F).

We used 32 Holstein heifers. On the second day, they were randomly divided in two groups after having nursed their mothers for the first day. Heifers from the first group were moved from the individual maternity pen into the individual hutch (19 heifers), heifers from the second group stayed in the maternity pen with the mother (13 heifers). Ten heifers were randomly taken from individual hutches on the seventh day and relocated to a loose housing pen with the milk automate feeder (group A). The remaining nine heifers stayed in individual hutches (group H).

Heifers, which were with the mother until the seventh day ( $n = 13$ ), were moved to a group pen with nursing cows (group N). Thus, three groups of animals were created according to the system of rearing during milk-feeding period (A, H and N, factor R). Trial heifers originated from four sires (F1,  $n = 8$ ; F2,  $n = 6$ ; F3,  $n = 9$  and F4,  $n = 9$ ; factor F).

The weaning was carried out for all animals at the age of 8 weeks. Animals of all groups were kept in common group pens in loose housing with bedding in age-balanced groups after weaning. Heifers were moved to group pens of the maternity barn three weeks before the expected date of calving, and three days before the expected date of calving or after the

appearance of calving symptoms they were moved to an individual maternity pen. During the first lactation they were in the same housing conditions.

All calves sucked colostrum from mother in free choice during the first 24 hours. Calves from groups A and H received colostrum and mother's milk in free choice three times a day from a bucket with nipple from the second to seventh day. From the second to the seventh day calves of the group N sucked a mother's udder three times per day. Mother was milked from the second day after calving.

Calves of the treatment A were drunk from the eighth day by a drinking automate. After the first three days, when they were made to drink milk replacer, they received 6 kg of milk replacer per day divided into 4 portions in 6 h intervals. Amount of milk replacer was increased from the 28<sup>th</sup> day on 8 kg per day. Calves of the treatment H got after first three days, when they were made to drink milk replacer, 6 kg of milk replacer per day from a bucket with nipple divided into 2 portions in 12 h intervals and from the 28<sup>th</sup> day 8 kg per day in two portions. Milk replacer involved minimal 20 % protein and minimal 20 % fat. Animals from the treatment N were moved to a nursing cow pen on the eighth day morning. The number of calves per one nursing cow was determined according to their milk yield (6 kg milk per each calf). A maximum of 3 cows were housed in one pen with the size of 8 x 4.5 m.

From the second day until weaning the calves could eat starter mixtures and alfalfa hay in free choice. From the age of 90 days they got also corn silage. From the 181<sup>st</sup> d, all heifers were fed the same diet according to Slovakian recommendations for intake of dry matter to attain 0.75 kg average daily gains. Equal conditions of nutrition were ensured in all groups.

After calving, during the first lactation, the heifers were fed a mixed diet consisting of corn silage, alfalfa haylage, alfalfa hay, barley straw, brewer's grain, sugar-beet pulp, and concentrate mixture for high-yielding cows. Total mixed ration was balanced according to Slovakian nutrient requirements of dairy cattle. First-calf dairy cows were kept in pens with free-stall housing and fed according to the stages of lactation.

Cows were milked twice daily in a 2 x 5 stall herringbone parlor. Milk yield was measured once weekly (each Tuesday PM, Wednesday AM) by Tru-tests and samples were taken twice monthly for milk composition determination on composite AM-PM samples. Fat, protein, lactose, solids-non-fat, total solids, and somatic cell count were determined using an infrared analyzer.

The weigh of each cow was measured monthly. Heifers were first bred when they were at least 16 months old or when they reached about 360 kg. Reproduction and health were observed. Ages at calving (A = 822 d, H = 814 d, N = 828 d) were not significant.

The data were analysed with a statistical package STATISTIX (Analytical Software, P.O. Box 12185, Tallahassee, FL 32317-2185, USA). The normal distribution of data was evaluated by Wilk-Shapiro/Rankin Plot procedure. We found non-normality only in the case of the ADG and somatic cell counts assessment. For this reason, the Kruskal-Wallis ANOVA procedure was more suitable for the comparison of groups. Significant differences between groups were tested by Comparisons of Mean Ranks.

Among-group comparisons of the body weights, milk production and milk composition were analysed using a General linear model ANOVA (General AOV/AOCV). Significant differences among means were tested by Bonferroni's test.

### 3 Results and Discussion

Cows in group N had the highest live body weight ( $540.5 \pm 52.6$  kg) and cows from group A the lowest ( $504.8 \pm 36.5$  kg) in the first month of lactation. The differences were not significant. In the last, tenth month of lactation, the average weight was  $554.5 \pm 42.3$  kg (A),  $566.9 \pm 45.3$  kg (H), and  $575.1 \pm 58.3$  kg (N). Differences among the comparison of the sire lineage were not significant.

The average daily gain for the period from the second to tenth month of lactation was statistically different among rearing groups during the milk-feeding period. The highest gain was recorded in animals of group A ( $0.41 \pm 0.30$  kg) and the lowest gain in cows from group N ( $0.09 \pm 0.23$  kg).

Other significances were found in the comparison of animals descended after sire ( $P < 0.05$ ). Dairy cows descended from sire F1 had a daily gain  $0.53 \pm 0.29$  kg and daughters from father F2 only  $0.11 \pm 0.21$  kg per day.

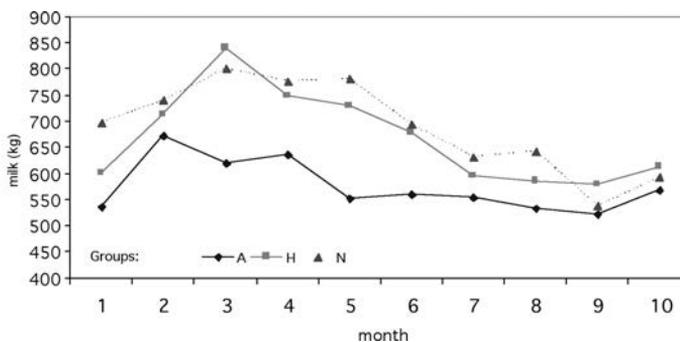


Fig. 1: Milk yield during lactation according to the rearing  
*Milchleistung während der Laktation in Bezug auf die Aufzucht*

Dairy cows of the N group had advantage in higher live body weight after calving. Difference about 35.7 kg and 18.6 kg in comparison to A and H group could be obviously very important. That was caused a better growth in rearing period. A number of studies have shown that feeding increased quantities of milk or milk replacer improves the rate of calf weight gains (APPLEBY et al., 2001; JASPER et al., 2002). Our last results of the experiment using the heifers before calving (BROUCEK et al., 2001) showed that the rearing conditions had long-term effect on the growth variables. The calves fed by nursing cows grew faster than the conventionally fed calves before weaning, probably as a result of the higher intake of milk. And that even when we limited the amount of milk by the number of calves per one cow.

Cows from group N had the highest milk efficiency throughout the first lactation (Fig. 1). Animals of group H housed in individual hutches yielded more only in the third, ninth and tenth months. The lowest milk efficiency in all months was recorded in first-calf heifers that had been drunk throughout the milk-feeding period by milk automate machine (group A).

A significant difference was found between groups N and A (factor R) in the sixth month of lactation ( $694.1 \pm 120.2$  kg versus  $560.4 \pm 116.4$  kg,  $P < 0.05$ ). A highly significant difference was recorded in the comparison of groups H, N and A ( $839.6 \pm 182.3$  kg and  $800.4 \pm 146.4$  kg versus  $619.6 \pm 151.1$  kg,  $P < 0.01$ ) in the third month. Highly significant

differences were documented in the fifth month of lactation, when group N milked  $780.5 \pm 132.2$  kg, group H  $729.9 \pm 93.5$  kg and group A only  $553.3 \pm 93.7$  kg (N:A,  $P < 0.001$ ; H:A,  $P < 0.01$ ).

The first-calf heifers reared by nursing cows displayed the highest production of milk ( $6894.1 \pm 879.8$  kg) and animals fed by automate machine the lowest ( $5757.5 \pm 865.5$  kg) during 305 days lactation. Animals from hutches (group H) neared the level of group N ( $6696.1 \pm 746.0$  kg). A highly significant difference was between groups N and A ( $P < 0.01$ ).

A similar trend was recorded also in the case of FCM milk (N  $6,541.9 \pm 6549.2$  kg versus A  $5820.9 \pm 797.3$  kg,  $P < 0.05$ ). The content of fat was highest in the group A ( $4.10 \pm 0.40$  %) and the lowest in the group H ( $3.57 \pm 0.55$  %;  $P < 0.05$ ). The highest production of fat, although not significantly, was recorded in group N ( $252.3 \pm 28.8$  kg).

Animals of group N produced highly significant more protein than group A ( $215.3 \pm 23.9$  kg versus  $180.9 \pm 27.5$  kg,  $P < 0.01$ ). The least lactose ( $285.0 \pm 40.6$  kg) and non-fat solids produced cows of group A ( $515.3 \pm 67.6$  kg; H  $599.9 \pm 68.7$  kg and N  $608.9 \pm 78.4$  kg;  $P < 0.05$ ). The content of total solids was the highest in group A, and the difference between A and N was significant ( $13.14$  % versus  $12.41$  %). On the contrary, production of the total solids was the highest in group N and the lowest in group A ( $846.5$  kg versus  $749.8$  kg;  $P < 0.05$ ).

No significant difference was found in the number of somatic cells, the value was the highest in the group H and the lowest in the group A (A  $169,400 \pm 225,800$ /ml, H  $273,400 \pm 353,100$ /ml, N  $275,900 \pm 184,900$ /ml).

Differences among rearing groups (factor R) can be explained by nutrition during milk-feeding period of these first-calf heifers. Animals of group N received more valuable liquid nutrition from udder a probably in greater amounts than animals from groups A and H. BAR-PELED et al. (1997) used calves that were fed milk replacer in open buckets or were allowed to suckle dam three times daily. Results indicated that heifer calves that suckled milk during the first 42 d of age had higher average daily gains, an earlier age at calving, and a tendency for greater milk production than did calves fed milk replacer. Similarly in the experiment of KHALILI et al. (1992), calves given a high level of milk or milk replacer in early life have a live-weight advantage over calves given a lower level of milk. Calves fed more milk remained healthy and gained weight much more rapidly before weaning. This live-weight was subsequently maintained. The weight advantage of the ad libitum-fed calves persisted for at least several weeks after weaning (JASPER et al. 2002).

Another reason why dairy cows fed by the milk automat machine produced the lowest amount of milk can be their worse health condition by weaning. According to PLATH et al. (1998) a higher proportion of calves reared in groups with CCF were affected by diarrhoea and bronchopneumonia and showed less DWG than calves reared in groups with bucket feeding. The risk of developing respiratory disease was 2.8 times higher in LH with CCF than in calves kept in IH (SVENSSON et al., 2000).

Effects of the sire lineage were very significantly showed in the fat content ( $P < 0.001$ ). Daughters F3 had the lowest content of fat, and consequently the differences among their group and the other three were significant (F2  $4.11 \pm 0.29$  %, F1  $3.97 \pm 0.42$  %, F4  $3.96 \pm 0.33$  % versus F3  $3.33 \pm 0.40$  %;  $P < 0.01$ ).

The production of the lactose and content of milk-solids were highly significant differed ( $P < 0.01$ ). Daughters F3 produced the most lactose ( $368.8 \pm 48.5$  kg), while daughters of sires F1 ( $305.1 \pm 47.6$  kg) and F4 ( $299.8 \pm 34.1$  kg;  $P < 0.05$ ) the least. The highest content

of total solids was found in groups descended from sire F1 ( $13.15 \pm 0.80 \%$ ) and F4 ( $12.94 \pm 0.42 \%$ ), the lowest content was recorded in daughters after sire F3 ( $12.07 \pm 0.43 \%$ ).

Statistical significancies ( $P < 0.05$ ) were showed in indexes of milk production (Fig. 2), contents of protein and lactose, as well as in the content and production of non-fat solids.

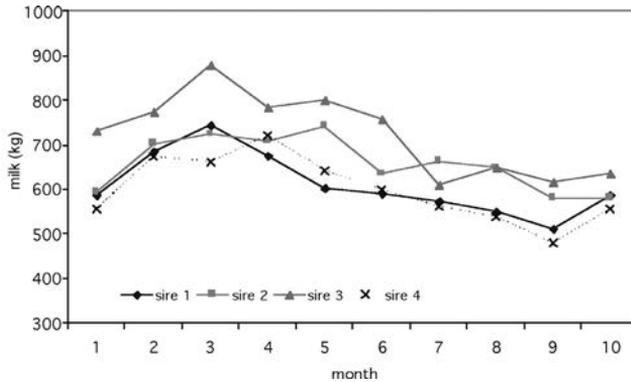


Fig. 2: Milk production according to the sire line  
*Milchproduktion in Bezug auf die väterliche Abstammung*

The genetic influences on milk production can be clearly manifested by the study of influence of sires. The sire lineage influences a large part of the population so its genetic qualities are effective as a stabilization factor. The sire is effective during a relatively short period in the herd, so the complex of factors to which are exposed its daughters during rearing should not be of such variability (HAYES, 2003).

#### 4 Conclusions

We studied if the live body weight and milk efficiency of dairy cows are impacted by the method of rearing from the second week of life to weaning and their sire. Analyses showed clear evidence that these factors influence growth, production and composition of milk.

The highest live body weight and milk production were recorded in dairy cows which were reared during milk-feeding period by nursing cows. On the contrary, the lowest live body weight and milk production was recorded in dairy cows which were fed until weaning by milk automate.

In the comparison of animals descended after sire were found significant differences in the milk performance.

Results demonstrate that system of calves rearing is an important determinant of milk production during the first lactation.

#### 5 References

The Reference list is available via the author: [broucek@vuzv.sk](mailto:broucek@vuzv.sk)

## Liegeboxenabmessungen für Mastbullen unterschiedlicher Gewichtsklassen

### *Dimensions of cubicles for fattening bulls of different weight classes*

HEIKE SCHULZE WESTERATH<sup>1, 3</sup>, JOHANNES KUHLCHE<sup>1</sup>, LORENZ GYGAX<sup>1</sup>, CLAUD MAYER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine (Bundesamt für Veterinärwesen), Agroscope FAT TÄnikon, CH-8356 Ettenhausen

<sup>2</sup> Institut für Tierschutz und Tierhaltung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Dörnbergstr. 25–27, D-29223 Celle

<sup>3</sup> Institut für Neuro- und Verhaltensbiologie, Westfälische Wilhelms-Universität, D-48149 Münster

**Schlüsselwörter:** Mastbullen, Liegeboxen, Boxenabmessungen, Liegeverhalten, Verschmutzung  
**Keywords:** *Fattening bulls, cubicle housing, dimensions of cubicles, lying behaviour, dirtiness*

### **Zusammenfassung**

*In einem Versuch wurden Liegeboxenabmessungen für Mastbullen verschiedener Gewichtskategorien anhand eines Vergleichs mit jeweils vergrößerten Liegeboxen hinsichtlich ihrer Eignung beurteilt. Zum Teil konnten positive Effekte auf das Verhalten der Bullen nach einer Vergrößerung der Liegeboxen festgestellt werden: mehr Liegeperioden, weniger Kopfschwünge beim Aufstehen, weniger Anschlagen an die Liegeboxenbegrenzungen beim Abliegen und Aufstehen. Andererseits lagen die Bullen in den vergrößerten Boxen weniger lang und zeigten z. T. vermehrtes Umtreten vor dem Abliegen. Atypische oder abgebrochene Aufsteh- und Abliegevorgänge wurden sehr selten beobachtet. Auch fielen die Bullen nie hin und drehten sich nie in den Liegeboxen um. Es zeigte sich eine leicht erhöhte Verschmutzung nach einer Liegeboxenvergrößerung. Insgesamt führten die Ergebnisse zum Schluss, dass die für die Untersuchung gewählten Liegeboxenabmessungen für Mastbullen als geeignet angesehen werden können.*

### **Summary**

*In an experiment, we judged dimensions of cubicles for fattening bulls of different weight classes by means of a comparison with enlarged cubicles. In some parameters, an enlargement of the cubicles had positive effects on the behaviour of the bulls: more lying bouts per day, less head lunges when standing up, less hitting of partitions when lying down or standing up. On the other hand, the animals spent less time lying per day and showed more stepping before lying down in enlarged cubicles. Atypical or interrupted lying-down or standing-up movements were rarely observed. In addition, bulls never fell and never turned around in the cubicles. The rating of dirtiness showed slightly worse situations after an enlargement of the cubicles. In conclusion, the cubicle dimensions chosen for this study are considered suitable for fattening bulls.*

## 1 Einleitung

Der Liegeboxenlaufstall hat sich als tierfreundliches Haltungssystem für Kühe bewährt. Ställe mit Hochboxen mit weichen Matten als Liegeflächenbelag sind eine Alternative zur tiergerechten Haltung von Mastbullen, mit dem Vorteil eines geringen Strohverbrauchs im Vergleich zu Systemen mit eingestreuter Liegefläche (Tiefstreu, Tretmist) (SCHULZE WESTERATH et al., 2004, im Druck).

Die Liegeboxen sollten so bemessen sein, dass die Bullen nicht in ihrem Liegeverhalten eingeschränkt werden. Bei zu kleinen Liegeboxen sind ähnlich wie bei Milchkühen Einschränkungen beim Liegen sowie beim Aufstehen und Abliegen zu erwarten (HÖRNING und TOST, 2002; TUCKER et al., 2004). Andererseits sollten sie nicht so breit sein, dass sich die Tiere in den Boxen umdrehen können, da dies zu einer vermehrten Verschmutzung der Liegefläche und der Bullen führen kann. Die meisten Empfehlungen zu Boxengrößen beziehen sich auf Milchkühe, nur wenige sind für Jungtiere (weibliche Nachzucht) zu finden. Bei Mastbullen ist außerdem zu berücksichtigen, dass es sich um wachsende Tiere handelt. Die bisher veröffentlichten Empfehlungen der Agroscope FAT Tänikon für die Breite der Boxen für Mastbullen (HILTY, 2001) erwiesen sich für die Kategorien der Tiere > 200 kg bei Beobachtungen im Zusammenhang mit einem früheren Versuch (MEIER et al., 2004) als zu breit, da sich die Tiere teilweise in den Boxen umdrehen.

Im vorliegenden Versuch wurde untersucht, ob die in Tab. 1 aufgeführten Liegeboxenabmessungen, welche gegenüber den von HILTY (2001) empfohlenen Abmessungen z. T. reduzierte Boxenbreiten aufweisen für die Bullen der unterschiedlichen Gewichtskategorien geeignet sind.

## 2 Methoden

### 2.1 Tiere, Haltung und Versuchsdesign

Untersucht wurden 20 Mastbullen verschiedener Rassen in vier Gruppen über eine gesamte Mastperiode (160 kg–550 kg). Gehalten wurden diese in einem Versuchsstall der Agroscope FAT Tänikon in vier Buchten mit je einem planbefestigten und teilweise nicht überdachten Lauf- und Fressbereich und fünf wandständigen Hochboxen mit weichen Matten. Die Liegeboxen waren durch freitragende Trennbügel aus Stahlrohren voneinander getrennt und hatten die in Tabelle 1 angegebenen Abmessungen. Die Untersuchungen fanden jeweils kurz vor und nach einer Boxenvergrößerung statt.

Tab. 1: Die im Experiment verwendeten Liegeboxenabmessungen für Mastbullen unterschiedlicher Gewichtsklassen

*Dimensions of cubicles for fattening bulls of different weight classes*

Gewicht / weight	[kg]	< 200	200–300	300–400	400–500	> 500
Boxenlänge <i>cubicle length</i>	[cm]	160	190	210	240	260
Boxenbreite <i>cubicle width</i>	[cm]	70	80	90	100	110
Liegeflächenlänge <i>length of lying area</i>	[cm]	120	140	150	185	185

## 2.2 Parameter

Es wurden an jeweils drei Tagen vor und nach einer Liegeboxenvergrößerung die Liegedauer und die Anzahl Liegeperioden automatisiert erfasst mittels Distanzsensoren, die leere Boxen, solche mit einem liegenden Tier und einem stehenden Tier unterscheiden können (s. SCHULZE WESTERATH et al., 2002). Anhand von Direktbeobachtungen wurde die Qualität der Abliege- und Aufstehvorgänge beurteilt (an 3–5 Tagen vor und nach einer Liegeboxenvergrößerung, pro Tier je ca. 10 Abliege- und Aufstehvorgänge). Erhoben wurden dabei:

- atypische und unterbrochene Aufsteh- und Abliegevorgänge,
- Ausrutschen und Hinfallen sowie Anschläge an Liegeboxenbegrenzungen beim Aufstehen oder Abliegen,
- die Anzahl der Kopfschwünge beim Aufstehen,
- das Umtreten mit den Vorder- und Hinterbeinen und die Intensität der Platzkontrolle vor dem Abliegen und
- Umdrehen in den Liegeboxen.

Ebenfalls an drei Tagen vor und nach einer Liegeboxenvergrößerung wurde die Verschmutzung und Vernässung der Tiere nach einem Schema in Anlehnung an dasjenige von FAYE und BARNOUIN (1985) erfasst (Noten von 0 = sauber bis 2 = total verschmutzt für acht Körperregionen). Außerdem wurde dabei zweimal täglich die Liegeflächenverschmutzung und -vernässung mittels eines Indexes bewertet, unterteilt in vordere zwei Drittel und hinteres Drittel der Liegebox, und die Kothaufen gezählt.

## 2.3 Auswertung

Zur statistischen Auswertung wurden lineare und generalisierte lineare (basierend auf der Binomialverteilung) gemischte Effekte Modelle verwandt (PINHEIRO und BATES, 2000; VENABLES und RIPLEY, 2002; berechnet mit R 1.8.1, [www.r-project.org](http://www.r-project.org)). Erklärende Variablen waren die Liegeboxengröße (klein, groß), der Zeitpunkt der Liegeboxenvergrößerung sowie deren Interaktion als fixe Effekte und die Gruppe, das Individuum und die Versuchssituation als zufällige geschachtelte Effekte.

### 3 Ergebnisse

Die mittlere tägliche Liegedauer variierte zwischen 625 und 893 min und war durchschnittlich auf 11 bis 20 Perioden pro Tag verteilt. Im statistischen Schnitt nahm die Liegedauer mit der Vergrößerung der Liegeboxen ab ( $F_{1,21} = 9,3$ ,  $p = 0,006$ , Tab. 2) und die Anzahl der Liegeperioden tendenziell zu ( $F_{1,21} = 4,2$ ,  $p = 0,052$ , Tab. 2).

Unterbrochene Aufstehvorgänge konnten nie und atypisches Aufstehen kaum beobachtet werden. Der Anteil der Aufstehvorgänge mit mehr als einem Kopfschwung nahm nach einer Vergrößerung der Boxen ab ( $F_{1,130} = 6,82$ ,  $p = 0,01$ , Tab. 2), und die Bullen schlugen in den jeweils größeren Boxen seltener an die Boxenbegrenzungen (außer beim Zeitpunkt 3, Interaktion:  $F_{1,130} = 10,7$ ,  $p = 0,002$ , Tab. 2, durchschnittlich in 23 % aller Aufstehvorgänge).

Tab. 2: Zusammenfassung und Beurteilung der Auswirkungen einer Vergrößerung der Boxen zu den jeweiligen Zeitpunkten auf die untersuchten Parameter  
*Summary and judgement of changes in the investigated parameters due to enlargement of the cubicles at the different points of time.*

Untersuchungsparameter <i>parameters</i>	statist. Resultat <sup>1</sup> <i>statistical result<sup>1</sup></i>	Vergrößerung <sup>2</sup> <i>Enlargement<sup>2</sup></i>	Beurteilung <sup>3</sup> <i>Judgement<sup>3</sup></i>
Liegen / <i>Lying</i>			
Liegedauer / <i>duration</i>	T E	↘	+
Anzahl Liegeperioden / <i>number of periods</i>	T (E)	(↗)	-
Aufstehen / <i>Standing up</i>			
> 1 Kopfschwung / <i>more than 1 head lunge</i>	T E	↘	-
Anschlagen / <i>hitting partitions</i>	I	↘	-
Abliegen / <i>Lying down</i>			
Umtreten vorne / <i>stepping front legs</i>	I	↘	+
Anschlagen / <i>hitting partitions</i>	I	↗	-
Ausrutschen/ <i>Slipping</i>	I	↗	+
Umdrehen / <i>Turning around</i>	-		+
Verschmutzung / <i>Dirtiness</i>			
Verschmutzung Tiere / <i>dirtiness animals</i>	I	(↗)	+
Verschmutzung Boxen / <i>dirtiness cubicles</i>	T(E)	(↗)	+
Kothaufen / <i>dung heaps</i>	I	↗	+
Vernässung Boxen / <i>wetness cubicles</i>	I	↗	+

<sup>1</sup> signifikanter Einfluss ( $p < 0,05$ ; in Klammern, wenn  $p < 0,10$ ) von Zeit (T), Boxenvergrößerung (E) und Interaktion (I); ohne Test: -. / significant influence ( $p < 0.05$ ; in parenthesis if  $p < 0.10$ ) of time (T), enlargement (E) and interaction (I); no test conducted: -.

<sup>2</sup> Effekt der Boxenvergrößerung: ↗ Zunahme, ↘ Abnahme von kleinen zu großen Boxen; in Klammern, falls nur Tendenz oder sehr kleine absolute Unterschiede. / Effect of enlargement: ↗ increase, ↘ decrease from small to large cubicles; in parenthesis, if only a tendency or very small difference on an absolute scale.

<sup>3</sup> Beurteilung der Vergrößerung: + = kleine Boxen besser, - = kleine Boxen schlechter. / Judgement of enlargement: + = smaller cubicles better, - = smaller cubicles worse.

Atypisches Abliegen konnte nie beobachtet werden. Abliegeunterbrechungen waren selten, und es war kein Zusammenhang mit den Liegeboxenvergrößerungen nachzuweisen ( $F_{1,131} = 0,19$ ,  $p = 0,67$ ). Der Anteil der Abliegevorgänge mit intensiver Platzkontrolle zeigte ebenfalls keine Veränderung in Abhängigkeit der Boxenvergrößerungen ( $F_{1,131} = 0,44$ ,  $p = 0,51$ ). Die Bullen schlugen auch beim Abliegen in den vergrößerten Boxen weniger häufig an (außer beim Zeitpunkt 1, Interaktion:  $F_{3,131} = 4,2$ ,  $P = 0,007$ , Tab. 2). Es konnte eine größere Anzahl Umtreten mit den Vorderbeinen nach einer Vergrößerung der Boxen beobachtet werden (außer beim Zeitpunkt 3, Interaktion:  $F_{3,131} = 4,19$ ,  $p = 0,007$ , Tab. 2), jedoch nicht mit den Hinterbeinen ( $F_{1,131} = 0,60$ ,  $p = 0,44$ ).

Durchschnittlich rutschten die Bullen in knapp 1% der Aufsteh- und Abliegevorgänge aus, dabei häufiger in den vergrößerten Boxen (außer beim Zeitpunkt 3, Interaktion:  $F_{1,131} = 4,19$ ,  $p = 0,043$ , Tab. 2). Sie fielen weder beim Aufstehen oder Abliegen hin, noch drehten sie sich in den Boxen um.

Sowohl die Tiere als auch die Liegeflächen waren insgesamt sehr sauber. Die Verschmutzung der Tiere nahm am Zeitpunkt 3 nach der Vergrößerung der Liegeboxen zu (Interaktion:  $F_{3,130} = 5,5$ ,  $p < 0,001$ , Tab. 2). Vernässt waren die Bullen kaum. Die Verschmutzung des hinteren Drittels der Liegefläche nahm nach einer Vergrößerung der Boxen tendenziell zu ( $F_{1,21} = 3,44$ ,  $p = 0,08$ , Tab. 2), wie auch die Anzahl der Kothaufen (außer beim Zeitpunkt 4, Interaktion:  $F_{3,12} = 6,4$ ,  $p = 0,003$ , Tab. 2) und die Vernässung (außer beim Zeitpunkt 3, Interaktion:  $F_{3,21} = 4,6$ ,  $p = 0,01$ , Tab. 2).

## 4 Diskussion

Die erhöhte Anzahl der Liegeperioden, die häufigeren Kopfschwünge beim Aufstehen und das seltenere Anschlagen an die Liegeboxenbegrenzungen während des Abliegens und Aufstehens deuten auf weniger Behinderung beim Abliegen und Aufstehen in den vergrößerten Liegeboxen hin. Die Tiere berührten jedoch meist nur leicht die Abtrennungen. Die Ergebnisse anderer Verhaltensweisen im Zusammenhang mit dem Abliegen und Aufstehen legten dagegen nicht nahe anzunehmen, dass die Liegeboxenvergrößerung die Situation der Mastbullen bezüglich Platzangebot verbesserte. Es traten sogar kürzere Liegedauern und z. T. vermehrtes Umtreten vor dem Abliegen auf. Atypische Abliege- und Aufstehvorgänge sowie unterbrochene Vorgänge wurden nur sehr selten beobachtet, was auf eine nicht sehr starke Einschränkung des Verhaltens der Bullen bei allen untersuchten Maßen hindeutet. Auch waren die Werte der Liegedauern und der Anzahl der Liegeperioden mit denen vergleichbar, die in der Literatur für Mastbullen in anderen Systemen beschrieben sind (z. B. GRAF, 1984; HARTMANN und SCHLICHTING, 1990; SCHULZE WESTERATH et al., im Druck). Bezüglich der Verschmutzungsbeurteilungen konnten leichte Verschlechterungen nach einer Vergrößerung der Liegeboxen festgestellt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass an den jeweiligen Zeitpunkten die kleineren Boxen nur geringe Nachteile zeigten. Ein Vorteil der schmalen Boxen war es, dass sich keiner der Bullen umdrehte. Zudem wirkten sich die kleineren Boxen leicht vorteilhaft auf die Sauberkeit aus. Eine Reihe anderer Parameter änderte sich mit den Boxenvergrößerungen kaum oder in derart unsystematischer Weise, dass sie keinen Beitrag zur Beurteilung dieser Boxengrößen leisten können. Aus den Ergebnissen dieses Experiments wird daher geschlos-

sen, dass die für die Untersuchung gewählten Liegeboxenabmessungen für Mastbullen der unterschiedlichen Größenkategorien (s. Tab. 1) geeignet sind.

## 5 Literatur

- FAYE, B.; BARNOUIN, J. (1985): Objectivation de la propreté des vaches laitières et des stabulation - L'indice de propreté. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix. I.N.R.A. 59, 61–67.
- GRAF, B. (1984): Der Einfluss unterschiedlicher Laufstallsysteme auf Verhaltensmerkmale von Mastochsen. Dissertation, ETH Zürich.
- HARTMANN, H.; SCHLICHTING, M. C. (1990): Verhalten von Mastbullen in Gruppenhaltung mit prozessor-gesteuerter Abruffütterung. KTBL-Schrift 342, 197–207.
- HILTY, R. (2001): Abmessungen an Aufstallungssystemen. Agroscope FAT Tänikon. [www.fat.admin.ch/e/](http://www.fat.admin.ch/e/) (publications, recommendations)
- HÖRNING, B.; TOST, J. (2002): Multivariate Analyse möglicher Einflussfaktoren auf das Ruheverhalten von Milchkühen in Boxenlaufställen. KTBL-Schrift 407, 139–151.
- MEIER, T.; SCHULZE WESTERATH, H.; MAYER, C.; GYGAX, L. (2004): Untersuchung zur optimalen Neigung der Liegefläche im Boxenlaufstall für Mastbullen. KTBL-Schrift 431, 122–128.
- PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. (2000): Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer, New York.
- SCHULZE WESTERATH, H.; MAYER, C.; BOLLHALDER, H. (2002): Automated registration of cubicle occupation in a cubicle housing system. Bornimer Agrartechnische Berichte 29, 169–172.
- SCHULZE WESTERATH, H., MEIER, T., KUHLCHE, J., GYGAX, L., MAYER, C. (2004): Der Liegeboxenlaufstall für Mastbullen. In: Auf dem Weg zu einer tiergerechten Haltung, 11. Freiland-Tagung/ 17. IGN-Tagung, 23.–25. September 2004, Wien, 46–49.
- SCHULZE WESTERATH, H., GYGAX, L., MAYER, C. (im Druck): Liegeverhalten von Mastbullen in Liegeboxenlaufställen. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2004, KTBL-Schrift.
- TUCKER, C. B.; WEARY, D. M.; FRASER, D. (2004): Free-stall dimensions: effects of preference and stall usage. J. Dairy Sci. 87, 1208–1216.
- VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D., 2002. Modern Applied Statistics with S, 4th edition. Springer, New York.

## Erkennung von technischen Fehlern im Melkstand – Eignung von Milchabgabemerkmale von Kühen

### *Detection of technical defects in milking parlours – using milking traits of cows*

HARTMUT GRIMM, CHRISTOPH APPEL

Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim

**Schlüsselwörter:** Automatische Erkennung, technische Fehler, Milchmenge, Milchfluss  
**Keywords:** Automated detection, technical defect, milk yield, milk flow

### **Zusammenfassung**

*In einer Untersuchung an drei Melkständen wurde der Einfluss von technischen Fehlern an der Melkstandeinrichtung auf die Milchabgabemerkmale (Milchmenge, Milchfluss, Melkdauer) überprüft. Die Milchmengenmessgeräte auf Betrieb 2 zeigten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Melkstandseiten. Diese Unterschiede lagen im Bereich von –0,3 bis –0,6 kg und konnten vom Betriebsleiter nicht erkannt werden. Die simulierte Fehlererkennung konnte diese Unterschiede jedoch finden. Auch die Wirkung von neuen Zitzengummis in Betrieb 3 konnte erkannt werden. Hier zeigten die Ergebnisse, dass die Zitzengummis wahrscheinlich nicht zu den relativ großen Zitzen der Kühe passten, da Milchmenge und Melkdauer etwas geringer waren, während der Milchfluss während der ersten 120 s sogar höher lag als in der Periode vor dem Wechsel der Zitzengummis.*

### **Summary**

*An investigation on three milking parlours was carried out to detect influences of technical defects of the equipment on milking traits (Yield, Milk flow, Duration of milking). The milk meters on farm 2 gave significant deviations for milk yield between the two sides of the parlour. These deviations were in the range of –3 to –6 kg and could not be detected by the farmer. The simulated detection of technical defects could find these deviations, however. Also the effect of new liners in farm 3 could be detected. Here the results gave the indication that these liners did not fit the relative big teats of the cows, because milk yield and duration of milking were slightly lower, whereas the milk flow during the first 120 s was even faster than in the period before the liners were exchanged.*

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Technische Fehler in einer Melkanlage werden frühzeitig erkannt – falls sie während des Melkens auftreten und sich direkt auf die Funktion der Melkmaschine auswirken. Dies gilt für Fehler in der Vakuumapplikation wie extrem niedriges Melkvakuum, Pulsatorfehler oder Fehlanzeigen der Milchmengenmessung. „Kleinere“ Fehler, wie Drift eines Milchmengenmessgerätes, veränderte Pulsierung oder Fehlfunktion von Zitzengummis an einem einzelnen Platz des Melkstandes, werden nicht erkannt, da sie den Melkablauf nicht direkt beeinflussen. Damit wird die frühzeitige automatische Erkennung von technischen Fehlern im Melkstand zu einem wichtigen Schritt auf dem Weg zu verbessertem Qualitätsmanagement in der Milcherzeugung. Sie setzt die Kenntnis über geeignete, sensibel auf diese Fehler reagierende Merkmale voraus. Einige Merkmale der Milchabgabe werden standardmäßig in Melkständen mit Milchmengenmessung erfasst und liegen für jede Kuh zu jeder Melkzeit vor. In der vorliegenden Arbeit werden diese „Standardmerkmale“ (Mittleres Minutengemelk, Milchmenge, Melkdauer) erfasst und auf ihre Eignung zur Fehlererkennung überprüft.

Dabei sind die wichtigsten Ziele herauszufinden,

- ob deutliche Änderungen von Milchabgabemerkmale auf technische Defekte am einzelnen Melkplatz zurückgeführt werden können;
- in welcher Größenordnung erkennbare Fehler liegen;
- ob mit „Standardmerkmalen“ der Einfluss technischer Defekte an bestimmten Melkplätzen nachgewiesen werden kann oder alternativ
- ob andere, aussagekräftigere Merkmale aus der Milchflusskurve errechnet werden können/müssen.

Im ersten Schritt werden dabei „Standardmerkmale“ vor und nach einem technischen Service verglichen und, falls defekte Komponenten ausgetauscht worden sind, nach diesem Austausch.

## 2 Methode

Auf drei Betrieben wurden Daten über mindestens 150 Melkungen je einzelner Standplatz des Melkstandes aufgezeichnet. Zur Hälfte der Datenaufzeichnungsperiode wurde ein Melkanlagen-Service gemäß ISO 6690 durchgeführt, bei dem technische Fehlfunktionen erkannt werden sollten. Dabei wurden auch die Milchmengenmessgeräte (MMM) gemäß der Anweisung des Herstellers kalibriert. Ziel war es, durch Vergleich der Milchabgabemerkmale vor und nach notwendigen technischen Veränderungen Unterschiede an einzelnen Standplätzen zu erkennen und daraus auf die gefundenen Funktionsmängel zu schließen. Die Managementsoftware wie auch die MMM waren auf allen Betrieben gleich. Die Milchabgabemerkmale wurden mit der Originalsoftware erfasst und für mindestens zwei Wochen vor und nach dem Service auf Harddisk gespeichert. Für die vorliegenden Untersuchungen wurden die Merkmale Mittlerer Milchfluss (MMF [kg/min]), Melkdauer (MOT Machine-on-time [s]) und die Gemelksmenge (GM [kg]) verwendet.

### 3 Ergebnisse

Auf den drei Betrieben wurden insgesamt 19742 (6781; 7449; 5512) Datensätze erfasst. Von diesen 19742 Datensätzen verblieben 11373 (2285; 5681; 3407) für Melkungen von Kühen, die beide Melkstandseiten relativ gleichmäßig besuchten. Der Rest der Kühe besuchte mehr oder weniger ausschließlich eine Melkstandseite, diese Daten wurden gesondert verrechnet. Die Datensätze umfassten neben den Milchabgabemerkmale die Kuhnummer, Datum und Uhrzeit der Melkung, Melkplatznummer sowie mehr als zehn weitere Merkmale mit Informationen über den Melkprozess. Obwohl einige dieser Merkmale brauchbare Informationen über die Kuh enthielten, konnten sie nicht für Verrechnungen über den Melkplatz verwendet werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Mittelwerte der untersuchten Merkmale.

Tab. 1: Melkdaten der Betriebe  
*Milking data of the farms*

Betrieb	Anzahl Melkungen	Mittlerer Milchfluss (kg/min)	Melkdauer (s)	Gesamtgemelk (kg)
1	2285	1,8	427	11,3
2	5681	2,3	327	12,0
3	3407	2,3	357	12,7

Einige kleinere Defekte wurden während des Service behoben, von keinem davon war jedoch ein Einfluss auf die Milchabgabemerkmale an einem bestimmten Melkplatz zu erwarten und sie wurden auch nicht in die Auswertungen einbezogen. So wurde auf einem Betrieb ein schlecht gewartetes und verschmutztes Vakuumregelventil gefunden, das vom Servicepersonal gereinigt wurde. Auf einem anderen Betrieb fand sich ein defekter Pulsator (a- und c-Phase einer Seite ~7 % länger) und wurde ausgetauscht. Zwei Plätze von Melkstand 1 (4 und 11) zeigten zeitweise Probleme mit der Datenübertragung, weshalb hier deutliche Datenlücken zu finden waren. Zusätzlich musste kurz nach Ende der Datenerfassung das MMM auf Platz 4 ausgetauscht werden. Über eine Online-Auswertung zur Anzahl der Melkungen wäre dieser Fehler frühzeitig erkannt worden!

Für eine erste Auswertung wurden folgende Fehler bzw. Veränderungen verwendet:

- Alle MMM der linken Seite des Melkstands 2 zeigten während der Kalibrierung zu niedrige Werte (–0,3 bis –0,6 kg). Dieser systematische Fehler konnte auch mit Neukalibrierung nicht behoben werden und dauerte bis zum Ende der Messungen an.
- Auf Betrieb 3 war direkt nach Ende der eigentlichen Datenerfassung ein Austausch der Zitzengummis geplant, deshalb wurde hier die Beobachtungszeit um zwei Wochen verlängert, um den Einfluss der neuen Zitzengummis erfassen zu können.

Einflüsse der Veränderungen auf die Merkmale wurden nach folgendem statistischem Modell für jeden Betrieb getrennt überprüft, um so den Einfluss der während des Service gefundenen und behobenen Veränderungen absichern zu können:

$$Y_{ijklm} = \mu + MZEIT_i + PLATZ_i + SERVICE_k + KUH_l + b(TAG_{ijklm} - TAG) + \epsilon_{ijklm}$$

wobei:

$Y_{ijklm}$  = Beobachtungswert

$\mu$  Mittelwert der Beobachtungen

$MZEIT_i$  = Fixer Effekt der Melkzeit (morgens/abends)

$PLATZ_i$  = Fixer Effekt des Melkplatzes (1 ... 12/16)

$SERVICE_k$  = Fixer Effekt des Service (vor/nach Service)

$KUH_l$  = Zufälliger Effekt der Kuh (1 ... 79)

$b$  = linearer Regressionskoeffizient eines Merkmals am Beobachtungstag (1 ... 56)

$\epsilon_{ijklm}$  = Beobachtungsfehler

Auf den Betrieben streuen die Mittelwerte der Gemelksmenge für die einzelnen Melkplätze, wie erwartet werden muss, sehr stark (Abb. 1). Eine Berücksichtigung der relevanten Einflüsse durch das genannte statistische Modell auf die Milchmenge ist unerlässlich und zeigt hier deutliche Unterschiede zwischen den beiden Melkstandseiten (Abb. 2), ohne dass der Landwirt bisher hiervon Kenntnis gehabt hätte. Dabei liegt die Grenze für das Erkennen von Unterschieden je nach Anzahl Melkungen bei 200 bis 400 g Milch. Diese Unterschiede zeigen sich bei der Überprüfung der MMM ebenfalls. Die Kalibrierung bringt jedoch nicht den gewünschten Erfolg, so dass die Unterschiede bis zum Ende der Untersuchung erhalten bleiben

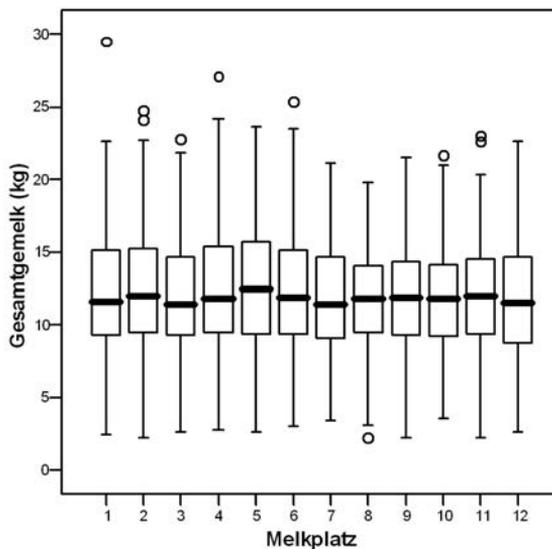


Abb. 1: Boxplot für die Gemelksmenge je Melkplatz (Betrieb 2)  
 Boxplot for milk yield on each stall (farm 2)

Die Verrechnung der Melkdaten mit dem aufwändigen statistischen Verfahren scheint also notwendig, wenn zwischen den Melkplätzen Unterschiede in einer Größen-ordnung von deutlich unter 1 kg, die von der Melkperson nicht bemerkt werden, erkannt werden sollen.

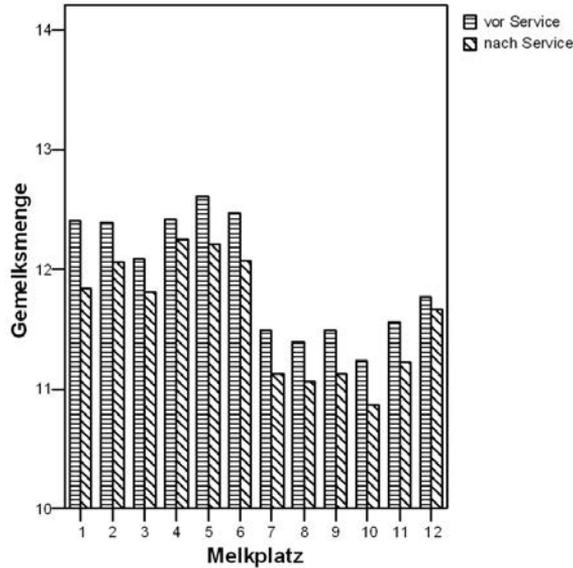


Abb. 2: Geschätzte Mittelwerte für die Gemelksmenge je Melkplatz vor und nach dem Service  
*Estimated means for milk yield on each stall before and after service (farm 2)*

Tab. 2: Wirkung des Zitzengummiwechsels (Betrieb 3)  
*Effect of liner replacement (farm 3)*

Merkmal	Zitzengummi	geschätzte Mittelwerte	Sign.
Milchmenge [kg]	alt	12.55	(8)
	neu	12.32	
MMF [kg/min]	alt	2.16	–
	neu	2.19	
MOT [s]	alt	377	**
	neu	365	
Milchmenge nach 120 s	alt	4.56	*
	neu	4.75	
Milchfluss 60 s – 120 s	alt	2.78	*
	neu	2.89	

Auch der Effekt eines Zitzengummiwechsels auf Betrieb 3 ist anhand leicht sinkender Gemelksmengen und abnehmender Melkzeiten nachvollziehbar. Hierbei zeigt sich, dass

den Milchfluss beschreibende Merkmale oder die Melkdauer für diesen technischen Einfluss auf die Gemelke deutlichere Unterschiede aufzeigen als die Gemelkmenge, insbesondere bei Berücksichtigung von Teilmengen bzw. Teil-Milchflüssen, also z. B. „Milchmenge nach 120 s“ oder „Milchfluss zwischen 60 und 120 s“ (Tab. 2). Dies ist für Vergleiche von Zitzengummis bekannt. Für Melkstände mit Abnahmeautomatik können jedoch prinzipbedingt keine Merkmale zur Vollständigkeit des Milchentzugs (z. B. Nachgemelkmenge) vorliegen, die zur Differenzierung noch besser geeignet wären.

#### 4 Schlussfolgerungen

In modernen, teuren Melkständen wird von Herstellerseite zur Zeit noch wenig Wert auf verlässliche Kontrollfunktionen gelegt, die auch den Ablauf der unterschiedlichen Datenströme überprüfen. So zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung, dass bereits mit einfachen beschreibenden statistischen Verfahren sich anbahnende Fehlfunktionen erkannt werden könnten. Mit entsprechenden aufwändigeren Verfahren ergäben sich weit bessere Möglichkeiten, bis zu technischen Abläufen am einzelnen Melkplatz Plausibilitätskontrollen durchzuführen und Fehlfunktionen zu erkennen, die von der Melkperson nicht rechtzeitig bemerkt werden können. Es zeigt sich allerdings auch, dass die üblicherweise erfassten Merkmale, die den Milchentzug für züchterische Zwecke beschreiben, für diese Kontrollfunktionen nicht immer ausreichen. Dies gilt insbesondere für Merkmale, die über den Ausmelkgrad der Kühe Auskunft geben (Maschinennachgemelk). Da diese Merkmale in Melkständen mit Abnahmeautomatik nicht erfasst werden können, sollten in weitergehenden Untersuchungen andere Merkmale erarbeitet werden, die über den Melkablauf informieren und auch kleinere technische Fehlfunktionen sicher erkennen lassen.

## **Auswirkungen des automatischen Melkens auf Milchqualität & Hygiene – Ergebnisse des BMVEL-Modellvorhabens 2001/03 II**

### ***Effects of Automatic Milking on Milk Quality & Hygiene – Results of the BMVEL-Pilot-Project 2001/03 II***

**JAN HARMS<sup>1</sup>, FRANZ FREIBERGER<sup>2</sup>, GEORG WENDL<sup>1</sup>, WILFRIED HARTMANN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik und

<sup>2</sup> Institut für Tierhaltung und Tierschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

<sup>3</sup> Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), D-64289 Darmstadt

**Schlüsselwörter: Automatisches Melken, Maßnahmenkatalog, Milchqualität, Hygiene**  
**Keywords: Automatic milking, milk quality, hygiene**

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen des BMVEL-Modellvorhabens 2001/03 „Milchviehställe mit automatischen Melkverfahren“ wurden unter anderem Auswirkungen des automatischen Melkens auf Milchqualität und Hygiene sowie die Umsetzung des Maßnahmenkatalogs erfasst.*

*Es wurde deutlich, dass bei guter Tiersauberkeit und korrekter Installation bzw. Einstellung der AMS eine mit konventionellen Betrieben vergleichbare Milchqualität erreichbar ist. Es zeigte sich jedoch auch, dass sich die Behebung eventueller Probleme z. T. schwierig gestaltete. Ursachen hierfür sind u. a. auch die im Vergleich zu konventionellen Melksystemen geringeren Erfahrungswerte bei der Einstellung.*

*Hinsichtlich des Maßnahmenkatalogs lässt sich festhalten, dass dieser eine sinnvolle Zusammenstellung durchzuführender Maßnahmen darstellt und eine frühe Erkennung möglicher Probleme sicherstellt. Die strengen Grenzwerte können bei ordnungsgemäßen Haltungs- und Fütterungsbedingungen, funktionierender Technik und einem guten Gesundheits- und Hygienemanagement eingehalten werden. Bezüglich der Umsetzbarkeit sind noch Detailverbesserungen notwendig.*

### **Summary**

*In the BMVEL-Pilot-Project “Dairy barns with automatic milking systems” effects of automatic milking on milk quality, hygiene and the implementation of the “catalogue of measures” were investigated. When animals were kept clean and the systems were installed or adjusted correctly, milk quality did not decrease compared to conventional milking systems. At the same time it became apparent, that solving the problems in automatic milking systems is more challenging. A reason for this is the shorter experience with AMS. Concerning the “catalogue of measures” it can be determined, that it is a reasonable combination of measures to be taken. Within the investigated farms the stringent limits could be met as long as animal-keeping and feeding conditions, technics and management were running as prescribed. Regarding the feasibility, improvements in certain details are necessary.*

## 1 Einleitung

Der Kostendruck in der Milcherzeugung steigt stetig an. Kostengünstiges Bauen bei gleichzeitigem Einsatz von High Tech in der Milchgewinnung könnte ein Lösungsweg für die Landwirte sein. Welche Auswirkungen dies auf Kosten, Arbeitszeit, Milchqualität und Hygiene hat, wurde gemeinsam mit der FH-Osnabrück im Rahmen des Modellvorhabens 2001/02 auf vier Betrieben mit AMS untersucht (KTBL-Schrift 430).

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse zu den Teilbereichen Milchqualität und Hygiene vorgestellt. Diese Bereiche spielen bei den Erwartungen der Verbraucher eine große Rolle. Aber auch von Seiten des Landwirts besteht erhebliches Interesse an der Milchqualität und einem guten Hygienestatus, nicht zuletzt deshalb, weil sie von enormer wirtschaftlicher Bedeutung sind.

Die Hygienevorschriften für die Herstellung und Vermarktung von Rohmilch, wärmebehandelter Milch und Erzeugnissen auf Milchbasis sind in der „Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis (Milchverordnung)“ zusammengefasst. Darin sind auch die rechtlichen Anforderungen an den Tierbestand, die Erzeugerbetriebe und das Melken aufgeführt (Anlagen 1–3). Da der Einsatz automatischer Melksysteme momentan in einigen Teilen nicht mit den rechtlichen Vorgaben in § 3, Anlage 3 der aktuellen Milchverordnung vereinbar ist, wurde im Februar 2001 vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) der so genannte „Maßnahmenkatalog“ erlassen. Dieser soll als Ergänzung zur Milchverordnung die rechtliche Grundlage für den Betrieb dieser Systeme sicherstellen. Ein wichtiger Punkt bei der Durchführung des Modellvorhabens war deshalb neben der Beurteilung der Milchqualität und des Hygienestatus die Umsetzung bzw. Umsetzbarkeit der Vorgaben des „Maßnahmenkatalogs“ durch die Landwirte.

## 2 Material und Methode

Auf den vier Modellbetrieben wurden die Ergebnisse des Probemelkens sowie die Molkereiabrechnungen hinsichtlich Zellzahl, Keimzahl und Gefrierpunkt der Milch ausgewertet.

Durch stichprobenartige subjektive Kontrollen des gesamten Erscheinungsbildes mit besonderem Schwerpunkt auf die Sauberkeit von Liegeboxen, Melkbox und Laufflächen wurden die hygienischen Bedingungen auf den Betrieben erfasst.

Die Sauberkeit der Tiere wurde nach einem festgelegten Bewertungsschlüssel beurteilt. Hierbei wurde besonderer Wert auf die Körperbereiche rund um das Euter gelegt. Erfasst wurde der Verschmutzungsgrad der entsprechenden Körperteile von 0 bis 100 % in fünf Stufen von 0 %, 20 %, 50 %, 70 % und 100 %. Dies entspricht im Bewertungsschlüssel den Werten 0, 0,2, 0,5, 0,7 und 1 (Abb. 1).

Hinweise auf den Hygienestatus der Melkanlage ergab die Auswertung der durch die Molkerei erfassten Keimzahlen.

Durch Befragungen der Landwirte wurden die im Rahmen des Maßnahmenkatalogs durchgeführten Maßnahmen sowie Anregungen und Kritikpunkte zu deren Umsetzbarkeit erhoben.

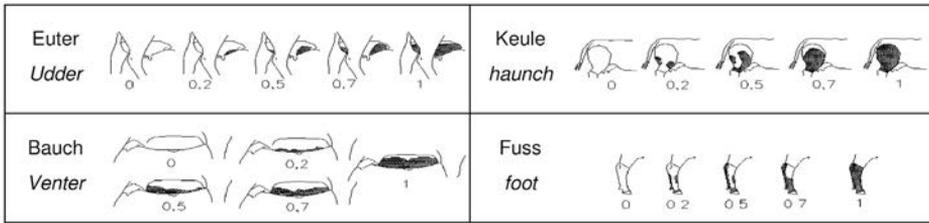


Abb. 1: Bewertungsschlüssel Tiersauberkeit  
 Valuation key for animal cleanliness

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Hygiene und Tiersauberkeit

Auf allen vier untersuchten Betrieben führten die Kontrollen des gesamten Erscheinungsbildes zu Bewertungen, die „sauber“ oder „sehr sauber“ entsprachen. Mit durchschnittlichen Verschmutzungsgraden der Herde in den Bereichen Euter und Bauch zwischen ca. 2,1 und 3,4 % lagen alle vier Betriebe auf einem ähnlichen Niveau. Die Bereiche Keule und Fuß waren auf allen Betrieben mit Werten zwischen 4,4 und 8,8 % stärker verschmutzt als die Bereiche Euter und Bauch. Sowohl innerhalb als auch zwischen den Betrieben traten hier größere Unterschiede auf (Abb. 2).

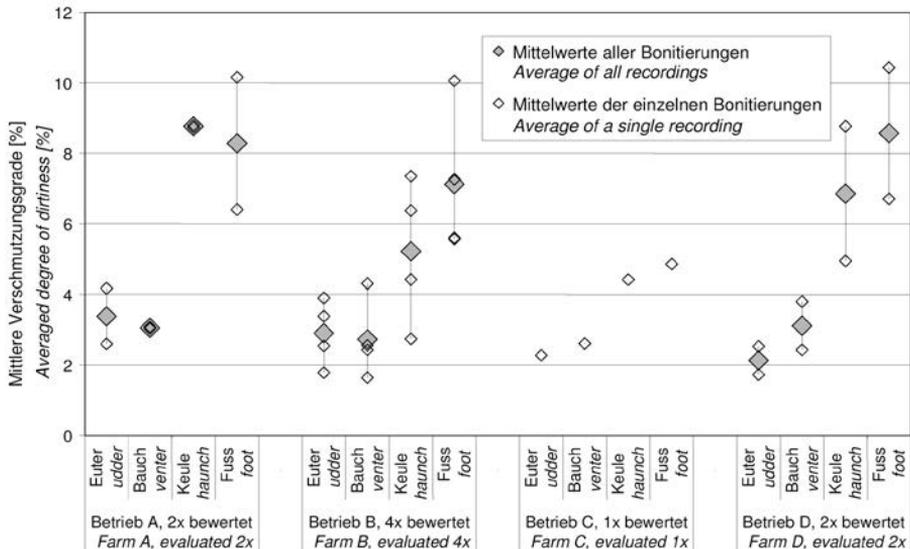


Abb. 2: Mittlere Verschmutzungsgrade [%]  
 Averaged degree of dirtiness [%]

### 3.2 Zellzahlen

Die erzielten Ergebnisse zu den Zellzahlen waren nicht auf allen Betrieben zufriedenstellend. In einigen Fällen wurden die Grenzwerte des Maßnahmenkatalogs überschritten. Ein Vergleich mit den konventionell melkenden Betrieben in Bayern zeigte, dass im Jahr 2003 die Hälfte aller bayerischen Betriebe den Grenzwert für die Zellzahlen (max. 30 % der Herde > 250.000 Zellen/ml) bei mindestens einem Probemelken überschritten hätte (Datenquelle: LKV Bayern).

Generell lässt sich festhalten, dass Überschreitungen der Grenzwerte in der Regel nicht durch Einsatz des automatischen Melksystems bedingt waren, sondern beispielsweise durch Probleme mit der Futterqualität oder allgemeine Probleme beim Gesundheitsmanagement. Die Landwirte gaben jedoch auch an, dass die Überwachung der Tiergesundheit beim automatischen Melksystem anspruchsvoller ist als im Melkstand.

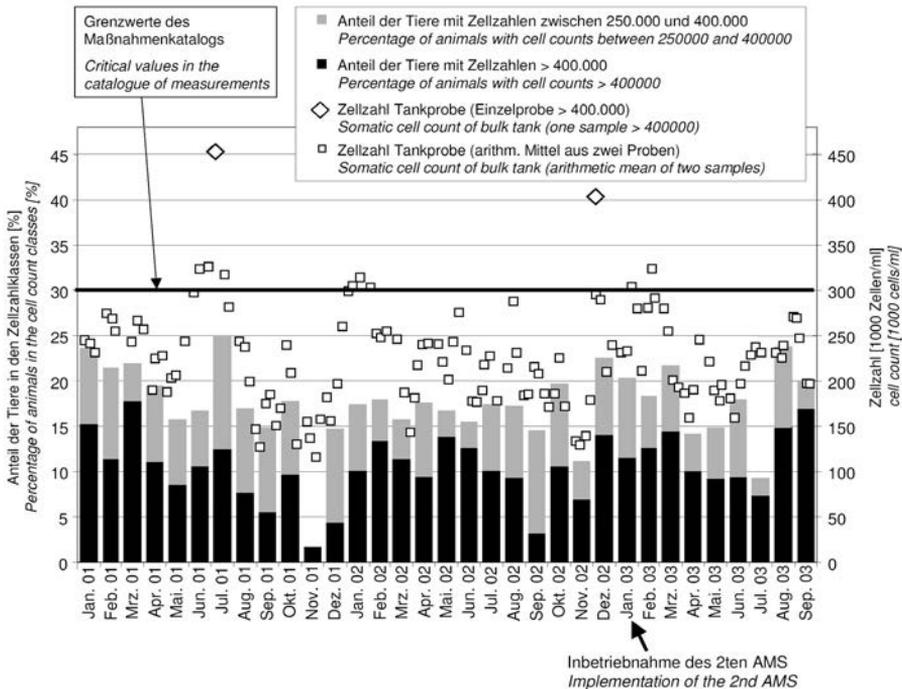


Abb. 3: Ergebnisse der Zellzahluntersuchungen auf Betrieb B  
Results of somatic cell count analysis on farm B

### 3.3 Keimzahlen

Hinsichtlich der Keimzahl auf den untersuchten Betrieben lässt sich zusammenfassend sagen, dass mit Ausnahme eines Betriebs nur selten Überschreitungen des Grenzwertes von 100.000 Keimen/ml stattfanden. Dies kann als Hinweis darauf gesehen werden, dass es sich bei erhöhter Keimbelastung nicht um ein generelles Problem des Einsatzes automatischer Melksysteme

handelt. Es wurde jedoch deutlich, dass sich die Problembehebung beim automatischen Melksystem teilweise schwierig gestaltete. Mögliche Ursachen hierfür sind die im Vergleich zu konventionellen Melksystemen geringeren Erfahrungswerte bei der Einstellung, zum anderen lassen die Anlagen auf Grund des 24-Stunden Betriebs nur wenig Zeit für umfangreiche Kontrollen zu.

### 3.4 Gefrierpunkt

Bezüglich des Gefrierpunktes wurde die Annahme, dass dieser durch den Einsatz automatischer Melksysteme erhöht wird, nur teilweise bestätigt. So lag der Gefrierpunkt auf einem Betrieb in etwa auf dem Niveau des bayerischen Durchschnitts (Datenquelle: LKV Bayern). Dies zeigt, dass bei einer fachgerechten Installation und sorgfältigen Einstellung der Anlage der Gefrierpunkt nicht erhöht sein muss. Bei den übrigen Betrieben lag er auf einem höheren Niveau, überschritt den Grenzwert jedoch nur selten. Dies deutet darauf hin, dass die Einstellung und evtl. auch die Installation der Anlagen hinsichtlich der Reduzierung von Restwasser teilweise noch Probleme bereitet.

### 3.5 Maßnahmenkatalog

Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass der Maßnahmenkatalog eine sinnvolle Zusammenstellung durchzuführender Maßnahmen darstellt. Bei den untersuchten Betrieben kann zusammenfassend festgestellt werden, dass bei ordnungsgemäßen Haltungs- und Fütterungsbedingungen, funktionierender Technik und einem guten Gesundheits- und Hygienemanagement die strengen Grenzwerte des Maßnahmenkatalogs eingehalten werden konnten. Traten jedoch Probleme in einem Bereich auf, so führte dies schnell zum Erreichen oder Überschreiten der Grenzwerte des Maßnahmenkatalogs.

Bezüglich der Umsetzbarkeit des Maßnahmenkatalogs ergaben sich bei den Landwirten in einigen Fällen Fragen oder Probleme. So stellte die **monatliche** Erfassung der Gesamtgemelkzellanahlen und der Tagesleistung der Kühe insofern ein Problem dar, als das Probemelken generell nur noch 11 Mal pro Jahr stattfindet.

Eine Überschreitung des Grenzwertes von 30 % für den Anteil der Tiere mit Zellgehalten über 250.000 Zellen/ml, gemessen an allen laktierenden Kühen, kann durch den Landwirt momentan nur durch eigene Berechnungen festgestellt werden. Der Grenzwert ist derzeit in keiner Auswertung der Prüforganisationen ausgewiesen.

Den Landwirten lagen die Einzelergebnisse der Tankmilchzellzahl zeitnah vor. Eine einmalige Überschreitung des Grenzwertes von 400.000 Zellen/ml war sofort ersichtlich. Den arithmetischen Mittelwert von 2 aufeinander folgenden Proben mussten die Landwirte jedoch fortlaufend selbst berechnen.

Hinsichtlich der durchzuführenden Maßnahmen im Fall einer Überschreitung der Grenzwerte des Maßnahmenkatalogs war für die Landwirte nicht klar, in welchem zeitlichen Rahmen die Maßnahmen durchzuführen waren. Insbesondere bei wiederholter Überschreitung der Grenzwerte auf Grund bereits bekannter Probleme waren sich die Landwirte bezüglich der Vorgehensweise unsicher.

Ebenfalls bestanden Unsicherheiten darüber, in welchem Umfang die automatisch erfassten Daten zu kontrollieren und wie die durchgeführten Maßnahmen zu dokumentieren sind.

## 4 Schlussfolgerungen

Obwohl die Auswertungen der Keimzahlen und des Gefrierpunkts keine gravierenden Unterschiede zu konventionell arbeitenden Betrieben ergaben, war zu erkennen, dass nur eine regelmäßige Kontrolle sowie eine sorgfältige Einstellung der Anlagen einen erfolgreichen Betrieb garantiert.

Hinsichtlich des Maßnahmenkatalogs sollten die festgelegten Grenzwerte auch in den Untersuchungsergebnissen der Prüforganisationen ausgewiesen und eine Überschreitung angezeigt werden. Bei der Dokumentation sollten Empfehlungen bezüglich der Umsetzung verfügbar sein. Eine schlechte Eutergesundheit wird nur in seltenen Fällen auf den Einsatz eines automatischen Melksystems zurückzuführen sein, Ursache können neben der Melktechnik verschiedene Faktoren sein (z. B. Haltungsbedingungen, Stress, Fütterung, Stoffwechselerkrankungen, Hygienemängel, Keimdruck). Deshalb müssten diese Faktoren ebenfalls berücksichtigt werden, damit mögliche Fehler abgestellt werden können.

## 5 Literatur

Bekanntmachung über die Anwendung bestimmter Maßnahmen in Milcherzeugerbetrieben mit automatischen Melkverfahren bis zum Vorliegen entsprechender Rechtsvorschriften (Maßnahmenkatalog).

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.) (2005): KTBL-Schrift 430: Automatische Melksysteme in modernen Milchviehställen – Ergebnisse des BMVEL-Modellvorhabens Landwirtschaftliches Bauen 2001/02. Darmstadt.

Milch-Güteverordnung BGBl. 1 vom 09.07.1980 i. d. F. der 1. Änd.-VO vom 03.12.1982 BGBl. I: zuletzt geändert durch die 5. VO zur Änderung der Milch GVO im Dezember 1993.

Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an das Gewinnen, Behandeln und Inverkehrbringen von Milch vom 20.07.2000 Jahrgang 2000 Teil I Nr. 36.

Verordnung zur Ausführung – Ausführungsverordnung – der Verordnung über die Güteprüfung und Bezahlung der Anlieferungsmilch GVBl. vom 07.12.1988; zuletzt geändert durch die VO zur Änderung der AV-Milch-Güteverordnung vom 31.07.1998 GVBl Nr. 16/1998.

## **Einfluss des sozialen Rangs auf das Tierverhalten bei verschiedenen Umtriebsformen beim automatischen Melken – Anwendung automatisierter Verfahren zur Schätzung des Rangs und des Aufenthalts im Fressbereich**

### ***Influence of the social rank on animal behaviour at different forms of cow traffic on automatic milking – Implementation of automated procedures to estimate the rank and the length of stay in the feeding area***

**JAN HARMS, GEORG WENDL**

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** Rang, Tierverhalten, Umtriebsform, automatisches Melken  
**Keywords:** Rank, animal behaviour, cow traffic, automatic milking

### **Zusammenfassung**

Eine Methode, über Verdrängungen am Futtertisch Schätzwerte für den Rang zu errechnen, wurde eingesetzt, um Auswirkungen verschiedener Umtriebsformen auf ranghohe und rangniedere Kühe darzustellen. Die so errechneten Dominanzwerte führten bei den Auswertungen des Tagesrhythmus für die Futteraufnahme und den Besuch der Melkbox zu realistischen Ergebnissen. Mit steigender Restriktion des Zugangs zu den Ressourcen Melkbox und Futtertisch (zunehmend gelenkter Umtrieb) zeigte sich zu den bevorzugten Zeiten (nach der Futtervorlage) eine zunehmende Verdrängung der als rangnieder eingestuften Tiere. Nach OLOFSSON 2000 lassen sich auch aus den zeitlichen Abständen beim Betreten der Melkbox Schätzwerte für den Rang eines Tieres errechnen. In Kombination mit den hier vorgestellten Ergebnissen könnte so dem Landwirt eine Möglichkeit gegeben werden, ohne zusätzliche Einrichtungen die Auswirkungen bestimmter Managementstrategien auf ranghohe bzw. rangniedere Tiere abzuschätzen und sich damit dem Ziel des Precision Livestock Farming weiter zu nähern.

### **Summary**

A method to estimate the rank of an animal by analyzing displacements at the feeding gate was used to describe the effects of different forms of cow traffic on high and low ranked cows. The calculated dominance values led to realistic results for the daily rhythm of feed intake and of visiting the milking box. Restricting the access to the feeding area and to the milking box (from free to guided cow traffic), led to a lower usage of these resources at the preferred times by cows classified as low ranked. OLOFSSON (2000) reported, that dominance values also can be calculated using the intervals of entering the milking box between two animals. In combination with these results a method could be offered to the farmer, which allows him to estimate the effects of different management strategies on high resp. low ranked animals without additional hardware. This would be a further step towards "precision livestock farming".

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Der Rang eines Tieres ist u. a. für den Zugang zu begrenzten Ressourcen von Bedeutung (z. B. SYME & SYME 1979). Bei automatischen Melksystemen stellt die Melkbox für das Tier eine solche begrenzte Ressource dar. Beim Einsatz gelenkter Umtriebsformen gilt dies auch für den Futtertrog, da dieser nur über die Melkbox oder Selektionseinrichtungen erreichbar ist. Im Gegensatz zu anderen Parametern kann der Rang eines Tieres vom Landwirt aber nicht, oder nur sehr schwer ermittelt werden. Im Sinne des „precision livestock farming“ müsste ein solcher Parameter jedoch bekannt oder zumindest schätzbar sein, um auf die individuellen Bedürfnisse des Tieres eingehen zu können.

Ziel der Untersuchung war es, unter Anwendung automatisierter Verfahren zur Schätzung des Rangs und des Aufenthalts im Fressbereich zu ermitteln, welche Auswirkungen verschiedene Umtriebsformen auf das Fressverhalten ranghoher bzw. rangniedriger Tiere haben.

# 2 Material und Methode

## 2.1 Untersuchte Betriebe und Umtriebsformen

Die Untersuchungen wurden auf zwei Versuchsbetrieben durchgeführt (Lfl-Grub und TUM-Hirschau). Auf Betrieb 1 wurde in einem dreireihigen Liegeboxenlaufstall bei einer Tierzahl von 49 Tieren (Fleckvieh) das AMS „Merlin“ der Firma Lemmer-Fullwood eingesetzt. Auf Betrieb 2 kam in einem vierreihigen Liegeboxenlaufstall das System „VMS“ der Firma DeLaval zum Einsatz (45 rotbunte Tiere). Auf beiden Betrieben wurden drei verschiedene Umtriebsformen untersucht. Neben dem in der Praxis am verbreitetsten freien Umtrieb waren dies der gelenkte und der selektiv gelenkte Umtrieb. Bei letzterem bestand über dezentrale Selektionstore in Abhängigkeit von der Melkberechtigung eine zusätzliche Zugangsmöglichkeit zum Fressbereich (Abb. 1). Jeder Umtriebsversuch dauerte 12 (Betrieb 1) bzw. 10 (Betrieb 2) Tage. Davor lag jeweils eine Umgewöhnungsphase von mindestens 7 Wochen. Eine detaillierte Beschreibung der untersuchten Betriebe und des selektiv gelenkten Umtriebs ist bei Harms 2004 zu finden.

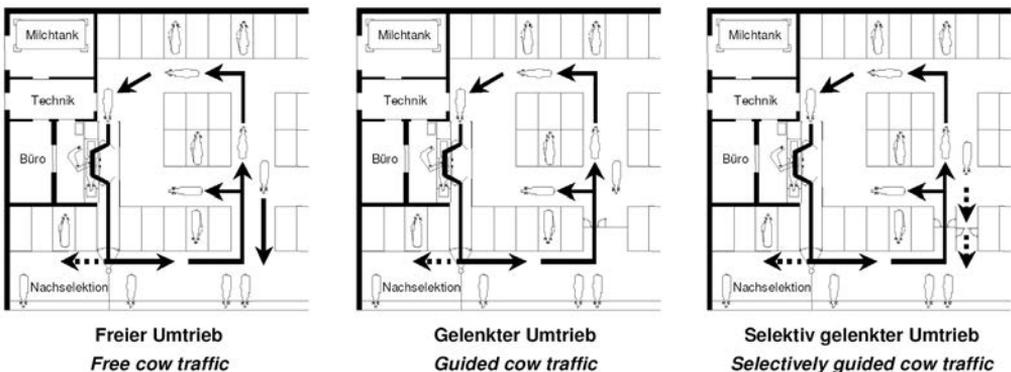


Abb. 1: Untersuchte Umtriebsformen  
Investigated forms of cow traffic

## 2.2 Ermittlung der Dominanzwerte als Maß für den Rang eines Tieres

Von verschiedenen Autoren (z. B. RUTTER et al. 1987, KENWRIGHT & FORBES 1993 oder OLOFSSON 2000) wird beschrieben, dass aufgrund von (automatisch erfassten) Verdrängungen am Futtertisch Rangindizes geschätzt werden können. In der vorliegenden Arbeit wurden die Dominanzwerte folgendermaßen bestimmt. Wurde der Fressplatz einer Kuh innerhalb einer Minute durch eine andere Kuh besetzt, so wurde dies als Verdrängung bewertet. Eine Kuh wurde innerhalb eines Kuhpaars als dominant bewertet, wenn sie die andere Kuh mindestens doppelt so oft verdrängt hatte, wie sie selber von ihr verdrängt wurde. In einem zweiten Schritt wurde ein Dominanzwert für jede Kuh ermittelt, indem der Anteil der Kuhpaare, in denen sie als dominant eingestuft worden war, an der Summe aller Kuhpaare, an denen sie beteiligt war, berechnet wurde. Diese Dominanzwerte konnten somit Werte von 0 (subdominant allen Kühen gegenüber) bis 1 (dominant über alle Kühe) erreichen. Tiere mit einem Dominanzwert bis 0,4 wurden als rangnieder eingestuft, ab einem Wert von 0,6 erfolgte die Einstufung als ranghoch. Tiere mit Werten zwischen 0,4 und 0,6 wurden nicht in die Auswertung einbezogen.

## 2.3 Rechnerische Ermittlung der Tierzahl im Fressbereich

Über die elektronische Identifikation der Tiere am Grundfutterwiegetrog bzw. Fressgitter können nur die Zeitpunkte und die Dauer des Aufenthalts am Fressgitter, nicht aber im Fressbereich bestimmt werden. Daher wurden angelehnt an die Vorgehensweise bei TOLKAMP et al. 1998 visuell drei kritische Intervalllängen ( $KI = 30, 50, 82$  min) bestimmt, bei der (kürzere) Intervalle innerhalb einer Fressperiode von (längeren) Intervallen zwischen Fressperioden getrennt werden können. Ausgehend hiervon wurde errechnet, ob sich ein Tier innerhalb einer Fressperiode befand. Unter der Annahme, dass Tiere den Fressbereich innerhalb einer Fressperiode nicht verlassen, wurde so für jeden Zeitpunkt ein Schätzwert für die Anzahl der Tiere im Fressbereich ermittelt. Die so gefundenen Werte wurden auf Betrieb 1 durch Videoaufzeichnungen überprüft.

# 3 Ergebnisse

## 3.1 Aufenthalt im Fressbereich – beobachtete und errechnete Werte

In Abbildung 2 ist für Betrieb 1 die Anzahl der im Fressbereich beobachteten Tiere der errechneten Anzahl gegenübergestellt. Insgesamt wurde die beste Übereinstimmung bei der längsten kritischen Intervalllänge (82 min) ermittelt. Es zeigte sich jedoch, dass das tatsächliche Fressverhalten mit einer einheitlichen kritischen Intervalllänge nicht für den gesamten Tagesverlauf beschrieben werden kann. So wurde der Anteil beim freien Umtrieb zwischen 07:00 und 09:00 Uhr um ca. 10 % Punkte überschätzt. In den Nachtstunden wurde er dagegen bei allen drei Umtriebsformen unterschätzt, die errechneten Werte gaben hier teilweise nur die Anzahl der Tiere mit Kopf im Fressrog wieder.

Dennoch zeigt dieser Vergleich, dass die errechneten Tierzahlen einen ausreichend genauen Schätzwert zur Bewertung unterschiedlicher Rahmenbedingungen darstellen. Für die weiteren Darstellungen wurde eine kritische Intervalllänge von 82 min. gewählt.

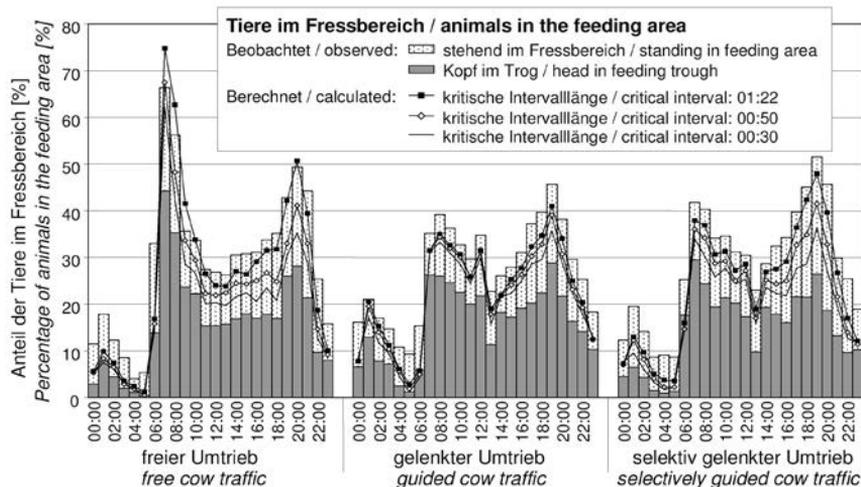


Abb. 2: Beobachteter bzw. bei verschiedenen kritischen Intervalllängen (KI) errechneter Anteil der Tiere im Fressbereich (Betrieb 1)  
*Observed resp. calculated (different critical intervals) percentage of animals in the feeding area (farm 1)*

### 3.2 Tagesrhythmus von Tieren mit unterschiedlichem Dominanzwert

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich wird, bestand hinsichtlich des Aufenthalts im Fressbereich beim freien Umtrieb auf Betrieb 1 kein nennenswerter Unterschied zwischen den Dominanzwert-Gruppen. Beim gelenkten Umtrieb waren dagegen deutliche Unterschiede erkennbar. Hier befand sich rechnerisch zwischen 6:30 und 9:30 ein geringerer Anteil der „rangniederen“ als der „ranghohen“ Tiere im Fressbereich. Zwischen 2:30 und 4:00 war dieses Verhältnis umgekehrt. Der selektiv gelenkte Umtrieb führte zu einem ähnlichen Effekt. Auch hier befand sich nach der Futtervorlage rechnerisch ein höherer Anteil der „ranghohen“ als der „rangniederen“ Tiere im Fressbereich. Die Ursache für diese Unterschiede ist in der Einschränkung der Zugangsmöglichkeit zum Fressbereich bei den beiden gelenkten Umtriebsformen zu sehen. Hierauf deuten die Unterschiede im Tagesverlauf beim Besuch der Melkbox hin. Bei den beiden gelenkten Umtriebsformen wurde diese nach der Futtervorlage verstärkt von den „ranghohen“ Tieren aufgesucht, die damit auch den Fressbereich zuerst erreichen konnten (Abbildungen in HARMS 2004).

Auf Betrieb 2 wurden insgesamt ähnliche Ergebnisse ermittelt, wobei der Tagesrhythmus hier bei allen Umtriebsformen weniger stark ausgeprägt war. Ursache hierfür könnte die weniger restriktive Futtervorlage auf diesem Betrieb sein, wodurch den Tieren in den frühen Morgenstunden mehr Futter zu Verfügung stand. Der deutlichste Unterschied zu Betrieb 1 wurde beim selektiv gelenkten Umtrieb festgestellt. Hier war auf Betrieb 2 nach der Futtervorlage kein Unterschied zwischen den Dominanzwertgruppen 1 und 3 feststellbar, was darauf

zurückzuführen ist, dass auf diesem Betrieb aktive Selektionstore verwendet wurden, die deutlich besser angenommen wurden als die passiven auf dem Betrieb 1 (Grafiken in HARMS 2004).

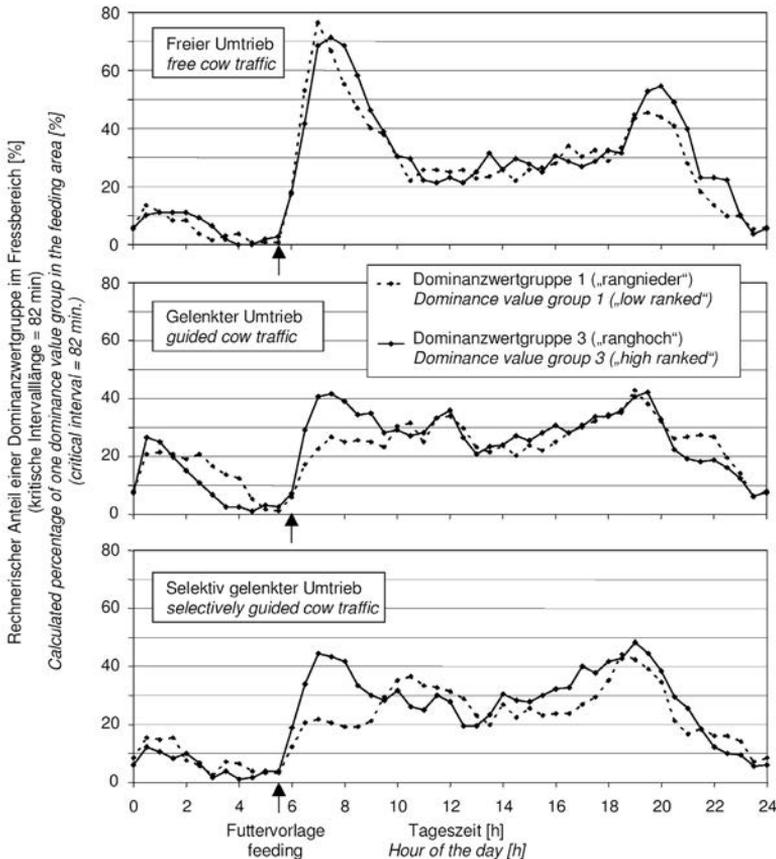


Abb. 3: Rechnerischer Anteil einer Dominanzwertgruppe im Fressbereich [%] auf Betrieb 1 (kritische Intervalllänge = 82 min.)

Calculated percentage of one dominance value group in the feeding area [%] on farm 1 (critical interval = 82 min.)

## 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Abschätzung der Aufenthaltsdauer und damit der Tierzahlen im Fressbereich ist über die bekannten Methoden zur Bestimmung von Fressperioden anhand automatisch erfasster Besuche des Fressgitters möglich. In der vorliegenden Untersuchung ergab die größte untersuchte kritische Intervalllänge von 82 min die beste Übereinstimmung mit der beobachteten Tierzahl. Dieser Wert liegt im oberen Bereich der in der Literatur vorgeschlagenen Werte. Im Tagesverlauf wich die errechnete Tierzahl unterschiedlich stark von der beobachteten ab.

Mögliche Ursachen hierfür sind das natürliche Verhalten der Tiere oder externe Einflüsse wie z. B. die Futtervorlage. Eine differenzierte Betrachtung der Intervalle lässt hier evtl. noch Raum für Verbesserungen des Modells.

Hinsichtlich der automatisch bestimmten Dominanzwerte konnte gezeigt werden, dass diese zu realistischen Ergebnissen bei den Besuchen der Melkbox und der Tierzahl im Fressbereich führen. Zu attraktiven Zeiten (z. B. nach der Futtervorlage) können „rangniedere“ Tiere die knappen Ressourcen Melkbox oder Fressbereich im Vergleich zu den „ranghohen“ Tieren häufig nur eingeschränkt erreichen. Je restriktiver der Zugang gewährt wurde (je „gelenkter“ der Umtrieb war) desto deutlicher waren diese Unterschiede. Der Vergleich der Betriebe zeigte, dass auch eine stärkere Restriktion des Futterangebots möglicherweise zu einem stärker ausgeprägten Tagesrhythmus führt und die Unterschiede zwischen „ranghohen“ und „rangniederen“ Tieren verstärkt.

Nach OLOFSSON 2000 lassen sich aus den zeitlichen Abständen beim Betreten der Melkbox ebenfalls Schätzwerte für den Rang eines Tieres errechnen. In Kombination mit den hier vorgestellten Ergebnissen könnte damit dem Landwirt eine Möglichkeit gegeben werden, ohne zusätzliche Einrichtungen die Auswirkungen bestimmter Managementstrategien auf ranghohe bzw. rangniedere Tiere abzuschätzen.

## 5 Literatur

HARMS, J. (2004): Untersuchungen zum Einsatz verschiedener Varianten des Tierumtriebs bei automatischen Melksystemen (Einboxenanlagen). Dissertation, Lehrstuhl für Landtechnik der Technischen Universität München – Weihenstephan: 178 S.

KENWRIGHT, A. D.; FORBES, J. M. (1993): Relationships between social dominance and feeding behaviour in lactating heifers during periods of heavy competition. – In: Anim. Prod., 56: S. 457 (Abstract).

OLOFSSON, J. (2000): Feed Availability and its Effects on Intake, Production and Behaviour in Dairy Cows. PhD Thesis, Department of Animal Nutrition and Management, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, Schweden.

RUTTER, S. M.; Y, D. A.; JOHNSON, C. L.; FORBES, J. M. (1987): Automatically recorded competitive feeding behaviour as a measure of social dominance in dairy cows. –In: Appl. Anim. Behav. Sci., 17, Issues 1–2: S. 41–50.

SYME, G. J.; SYME, L.A. (1979): Social Structure in Farm Animals. Elsevier, Amsterdam: 200 S.

TOLKAMP, B. J.; ALLCROFT, D. J.; AUSTIN, E.J.; NIELSEN, B.L.; KYRIAZAKIS, I. (1998): Satiety splits feeding behaviour into bouts. – In: J. Theor. Biol., 194: S. 235–250.

## Automatic cluster removal and incomplete milking *Automatische Abnahme des Melkzeuges und unvollständiges Melken*

ARMINS LAURS

Institut für Landtechnik, Agraruniversität Lettland, LV-3001, Jelgava

**Keywords:** Machine milking, automatic cluster removal, incomplete milking

**Schlüsselwörter:** Melkzeug, automatische Abnahme des Melkzeuges, Ausmelkgrad

### **Zusammenfassung**

Die Untersuchungen wurden im Anbindenstall mit 300 Kühen ausgeführt, die auf 3 Gruppen verteilt wurden. Jede Gruppe behandelte eine Melkerin die mit 4 Melkzeugen mit automatischer Abnahme arbeitete. Getestet wurden die in Lettland verbreiteten Melkzeuge „Milk Master“ (De Laval), „Unico 1“ (SAC) und „Soffimat Electronic“ (Strangko).

Nach automatischer Abnahme des Melkzeuges wurde die Kuh per Hand gemolken und von jedem Viertel die ausgemolkene Milchmenge gemessen. Das Resultat wurde nach Hauptkriterien und vereinfachten Kriterien bewertet. Nach Hauptkriterien gilt eine Kuh als gut ausgemolken, wenn das Gesamtnachmelk nicht mehr als 200 ml umfasst; vereinfacht wird eine Nachmelkmenge von 200 ml pro Viertel und bis zu 800 ml insgesamt gestattet.

Nach den vereinfachten Kriterien lieferten alle Melkzeuge gute Kennziffern. Bei der Bewertung nach Hauptkriterien ist das Melkzeug „Milk Master“ der Firma „De Laval“ befriedigend. Die Kennziffer der anderen Melkzeugen konnten nicht als positiv betrachtet werden. „Milk Master“ lieferte gute Resultate dank erfolgreicher Konstruktivlösung und der Zitengummiform.

### **Summary**

Researches were effected in a tied – up stanchion barn with 300 cows, which had been split into 3 groups. One milker working with 4 units serviced each group. Checked up there were most spread in Latvia milking units: “Milk Master” – (De Laval), “Unico 1” – (SAC), “Soffimat Electronic” – (Strangko).

After automatic removal of the milking unit the cow was stripped by hand and the milk quantity milked from each quarter was measured. The result was assessed according to basic criteria and eased criteria. According to basic criteria, stripping in all quarters in total should not exceed 200 ml, but according to eased ones up to 800 ml.

By assessing according to basic criteria, requirements are met only by milking unit “Milk Master” (De Laval). By assessing according to eased criteria, requirements are met by all milking units.

## 1 Introduction

In recent years in the Baltics more and more milking units with automatic take – off in the end of milking are being used. The most spread milking units are “Milk Master” (“DeLaval”), “Soffimat” (“Strangko”) and “Unico 1” (“S.A.Christensen & Co”). By using these units there is no need for machine stripping. As it is known, if the udder has appropriate morphological features, the teat – cup in the end of milking shall go upwards the teat and shall squeeze the udder and teat cistern. As a result, the quarter shall not be completely evacuated and therein remains some milk. By using ordinary milking units, the milkers, if needed, prior to take – off of the milking unit shall effect machine stripping, i. e. they manually pull the teat – cups downwards and release the cistern connecting places. Thus milk is being completely evacuated from the quarters. As mentioned before, there is no need for this operation if used are automatic milking units. In the Baltic herds there has not been done active selection work in suitability of cows for mechanical milking, therefore there are many cows which may have some problems by crawling up the teat – cups in the end of milking. There are viewpoints that incomplete milking of the cows may be a reason for mastitis. Due to the above, tasks of researches are set as follows:

- detect degree of complete milk evacuation;
- estimate affect of the milking units on the udder health status.

## 2 Material and Methods

The experiment was carried out in the Latvia University of Agriculture training and research farm „Vecauce” in stanchion barn of 300 heads. The cows were divided into four groups with 100 cows in each group. Each experimental group was serviced by one milker by working with 3 company “DeLaval”, “Strangko” or “S.A.Christensen & Co” automatic milking units. The herd consisted of the Latvian Brown cows. Their average yield was 4000 kg of milk per cow. About 75 % of the cows were in their 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> lactation.

The milking unit “Milk Master” automatic takes off the unit from the udder in the end of milking. If there is no increase of the milk evacuation intensity within 20 s over 200 g/min., the milking unit, by means of a special take – off mechanism operating by vacuum, shall be taken off the udder. As one can see, the end stage of milking shall take place without any co – participation by man. The company “Strangko” and “S.A.Christensen & Co” milking unit are operating with similar parameters. The only distinction being that for these units in the final stage of milking there is no decreasing of vacuum and changes of the pulsator working mode.

Cows’ degree of milk evacuation completeness was determined by manual strip yield. Immediately upon take – off of the milking unit, every cow was stripped by hand and the strip yield of each quarter measured. In long-term mechanized milking practice there’s been stated, that in the end of milking, by performing a careful machine stripping, the hand-stripping yield in all quarters together is 100–200 ml (ZAKS, 1964), and it has been in the present researches taken as basic criterion by assessing completeness of milking. In many farms in daily work there is reconciliation, that the hand-stripping yield in one quarter should not exceed 200 ml, and in total in all quarters – 750 ml (HAMMAN, DODD, 1992). This is assumed as eased criterion.

To control the udder health status since beginning of the automatic milking units application, once per month samples of milk from each cow were taken and count of somatic cells measured therein. As upper limit, above which the cow was considered as one with increased somatic cell count, we assumed 200,000 SCC/ml (RADOSTITS etc, 1994).

### 3 Results and Discussion

After having analyzed the amount of manual strip yield per quarters (Fig. 1), it was stated that all units were within limits with only insignificant deviations ( $< 200$  ml per quarter). This limit in the "DeLaval" group was exceeded by 2 % of cows, in "S.A.Christensen & Co" – 5 %, in "Strangko" – 7 %. After further analysis the "DeLaval" milking unit still shows the interval 0 ... 25 ml for 75 % of cows. For other units this indicator is considerably lower (40 %). If we take into consideration the more strict boundary – 0 ... 50 ml, again the "DeLaval" milking unit has the highest values ("DeLaval" – 87 %, "Strangko" – 62 %, "S.A.Christensen & Co." – 60 %, accordingly).

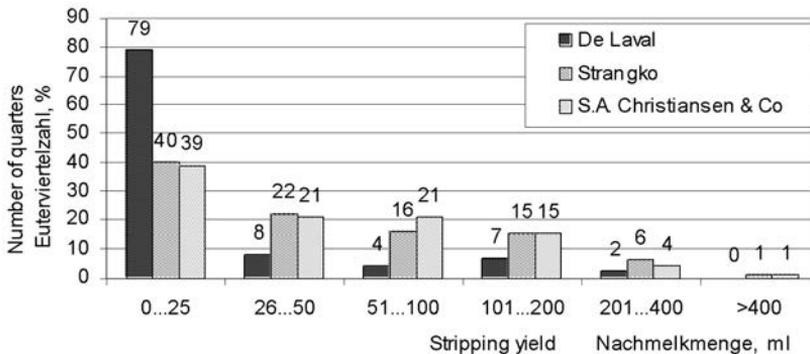


Fig. 1: Manual stripping yield from the quarters  
Handnachmelkmenge in Vierteln

By evaluating results of complete milk evacuation degree according to the strict ( $< 200$  ml) criteria, it was proved (Fig. 2) that the "DeLaval" milking unit stand the limits, whereas the both other units do not fulfill the requirements. How will this express itself in practice? Apparently, by applying "Strangko" and "S.A.Christensen & Co" units, half of the cows will have to be milked by switching the units over to non-automatic mode.

Thus it makes no sense to obtain the milking units, there is no hope for any desirable results to be expected. After having analyzed the structure and performance of all the milking units, one can conclude that advantageous performance of the "DeLaval" milking units is biased on the successfully elaborated milking unit "Harmony" and the teat inflation rubber.

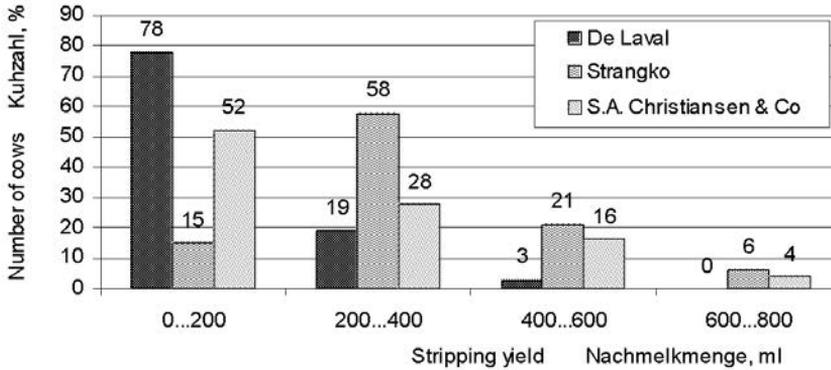


Fig. 2: Total manual stripping yield from the cows  
Gesamtnachmelkmenge von einer Kuh

Figure 3 shows dynamic of changes in the number of cows with increased somatic cell count during the time period since the group was started to be milked by automatic milking units. A tendency is observed that the number of cows with elevated somatic cell count lowers. However, an increase of the cell count during summer months is to be explained by seasonal influence as observed in other research studies. As one can see, increase of the cell count within this period is observed in all groups of cows. We can conclude that application of automatic milking units does not in any way cause deterioration of the udder health status.

As noted afore, within one year's time the number of cows in the herd with increased level of somatic cells has decreased. It is explained by the fact that in the end of milking an automatic removal of milking units takes place, dependend on intensity of milking. So, there's excluded any too long keeping of the milking unit attached to the udder after cessation of milk flow.

It is proved that the cow should be milked as completely as possible. In long-term mechanical milking practice it has been stated, that by performing a careful machine stripping in the end, hand-stripping yield does not exceed 100–200 ml (ZAKS, 1964). If after removal of the milking unit in the udder there remains more than 200 ml of milk, productivity is dropping. This is proved in many researches (WILDE etc., 1989). Results of researchers have proved that by regularly leaving 500–900 ml non-milked in every milking time, approximately 10 % of the possibly to-be-gained quantity of milk and 12 % of milk fat is lost. From that one can conclude, that in order to prevent economic losses, the cow has to be milked completely, and not more than 200 ml of milk should remain in the udder.

A reason of incomplete milking is crawling up of the milking cup on the teat in the end of milking, when the shape of the udder and milk yield indicators are not suited for mechanized milking. Making machine stripping eliminates usual crawling up of milking cups, what is not done by using milking units with automatic removal thereof.

In the Baltic States herds serious selection work according to cows' suitability for machine milking is just in the beginning, therefore farmers will have to consider situation in their herds thoroughly prior to acquisition of automatic milking units.

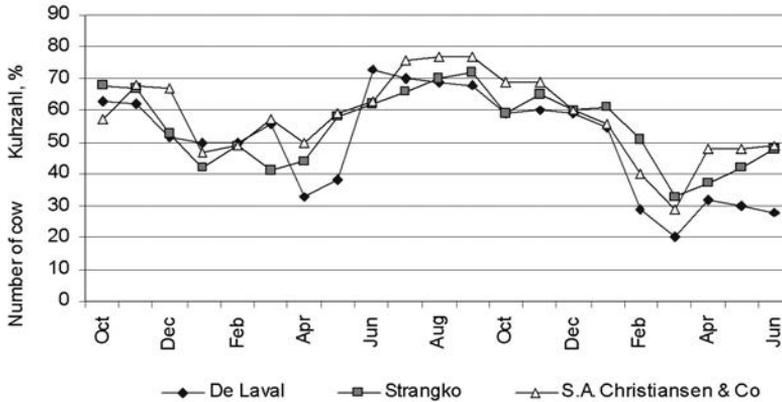


Fig. 3: Dynamic number of high somatic cell count cows (SSC > 200,000 cells/ml)  
 Dynamik der Zahl von Kühen mit vergrößerten somatischen Zellen (SSC > 200.000 Zellen)

Moreover, a great attention should be paid to the design (construction) of milking units. As proven by the present researches there are different milking units, with milking cups that crawl up less or even more.

If after acquisition of automatic milking units it will turn out that for many cows there are great stripping yields, farmers will have to reconcile with it or milking units will have to be operated in the mode without automatic removal. In both cases acquisition of automatic milking units will not justify itself and economic losses have to be expected.

Regarding completeness of milking, the "De Laval" automatic milking unit "Milk Master" proved for good results. In this herd without special selection according to cows' suitability for mechanized milking, 78 % of cows' stripping yield did not exceed 200 ml. This can be regarded as a good result.

## 4 Conclusions

- All the three milking units checked ensure completeness of the udder evacuation, if a stripping amount < 200 ml per quarter is chosen as criterion. If we are guided by the criterion < 200 ml per all quarter in total, then the check-up is withstood only by the "DeLaval" milking unit "Milk Master".
- All the milking units checked-up there do not leave any adverse affect on the udder health status.
- For cows, which being milked by automatic milking unit in one and the same quarters there remains any increased stripping yield, the milking unit shall be switched over non-automatic mode.

## 5 References

HAMANN, J.; DODD, F. H. (1992): Milking routines in Machine milking and lactation (EDS, A. J.; BRAMLEY, F. H.; DODD, G.; MEIN, A.; BRAMLEY, J. A.), Bershire – Vermont: Insight Books, 79–81.

RADSTITTS, O. M.; LESLIE, K. E.; FETROW, J. (1994): Mastitis Control in Dairy Herds in Herd Health: Food Animal Production Medicine, 2nd ed. W. B. Saunders Company, 237–240.

WILDE, C. J.; BLATCHFORD, D. R.; KNIGHT, C. H.; PEAKER, M. (1989): Metabolic adaptation in goat mammary tissue during long – term incomplete milking, *Journal of Dairy Research* 56, 7–15.

ZAKS, M. G. (1964): Funkcija molotshnoi zelezi I praktika dojenja korov in Molotshnaja zeleza, Moskava – Leningrad: Nauka, 194–201.

## Auswirkungen automatischer Melksysteme auf die Arbeitswirtschaft und Wirtschaftlichkeit in der Milchviehhaltung – Ergebnisse des BMVEL-Modellvorhabens 2001/03 I

### *Effects of automatic milking systems on labour and economy on dairy farms – Results of the BMVEL-Pilot-Project 2001/03 I*

BERND LEHMANN<sup>1</sup>, JOCHEN BAUMEISTER<sup>1</sup>, MICHAEL KLINDTWORTH<sup>1</sup>, ANDREAS GIERSE<sup>1</sup>, MELANIE OHNESORGE<sup>1</sup>, KLAUDIA KLINDTWORTH<sup>2</sup>, WILFRIED HARTMANN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, D-49090 Osnabrück

<sup>2</sup> freie Mitarbeiterin, D-49090 Osnabrück

<sup>3</sup> Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), D-64289 Darmstadt

**Schlüsselwörter:** Automatisches Melken, AMS, Arbeitswirtschaft, Wirtschaftlichkeit

**Keywords:** *Automatic milking, AMS, labour, work management, economy*

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen des BMVEL-Modellvorhabens 2001/03 „Milchviehställe mit automatischen Melkverfahren“ wurden auf vier Modellbetrieben Auswirkungen auf die Arbeitswirtschaft und Wirtschaftlichkeit erfasst.*

*Die durchgeführten Arbeitszeitstudien zeigen, dass für die erfassten Arbeitsvorgänge insgesamt 4 bis 5 APmin/Kuh und Tag benötigt wurden, wobei der Zeitaufwand für das Arbeiten mit dem AMS in einem Bereich von 0,13 bis 1,06 APmin/Kuh und Tag lag.*

*Bei der Betriebszweigabrechnung 2001/02 ergaben sich Gesamtkosten in Höhe von 32,1 bis 44,6 ct/kg Milch. Die Abschreibung des AMS lag dabei in einem Bereich von 2,4 bis 4,2 ct/kg Milch. Die variablen Kosten für das AMS betragen 1,6 bis 1,9 ct/kg Milch. Die Modellbetriebe erzielten mit der Milchviehhaltung eine Gesamtleistung von durchschnittlich 40,4 ct/kg Milch. Für den Gewinn wurden in der vorliegenden Untersuchung Werte zwischen 1,8 und 14,1 ct/kg Milch ermittelt, das kalkulatorische Betriebszweigergebnis lag bei –7,8 bis 7,6 ct/kg Milch.*

### **Summary**

*The BMVEL-Pilot-Project “Dairy barns with automatic milking systems” was realized, to investigate the automatic milking on work management and economy.*

*The results show, that 4 to 5 MPmin (man-power-minutes) were required to fulfill the whole work in the barn for each cow per day. As a part of this, for the work with an AMS values of 0.13 to 1.06 MPmin/cow and day were measured. Economic analyses (year 2001/02) show a total cost for the milk production of 32.1 to 44.6 ct/kg milk. The writing-off related to AMS was at 2.4 to 4.2 ct/kg milk. The variable costs related to AMS varied from 1.6 to 1.9 ct/kg milk. The “overall benefit level” of the milk production showed a mean value of 40.4 ct/kg milk. This led to a profit of 1.8 to 14.1 ct/kg milk.*

## 1 Einleitung

In der Milchviehhaltung sind automatische Melksysteme (AMS) die größte technische Veränderung der letzten Jahre. Automatische Melksysteme sollen sowohl die Arbeitsqualität steigern als auch eine Flexibilität bei geringerem Arbeitszeitaufwand ermöglichen. Allerdings steigt mit dem Einsatz eines AMS die Anforderung an das Management.

Gemeinsam mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik; Institut für Tierhaltung und Tierschutz) wurden im Rahmen des BMVEL-Modellvorhabens 2001/03 Untersuchungen auf vier landwirtschaftlichen Betrieben mit AMS durchgeführt. Die technischen Gegebenheiten nehmen direkt oder indirekt auf den Tagesablauf, den täglichen Arbeitszeitbedarf und die Wirtschaftlichkeit Einfluss. Im vorliegenden Beitrag werden ausgewählte Ergebnisse zu diesen Teilbereichen vorgestellt.

## 2 Material und Methode

Zur Arbeitszeiterfassung wurden auf allen vier Modellbetrieben die Betriebsleiter von ein und derselben Person an jeweils drei Arbeitstagen begleitet. Zur Datenerfassung wurde ein elektronisches Zeitmessbrett (MULTIDATA, Fa. Drigus) eingesetzt. Als Arbeitsvorgänge wurden

- die Büroarbeit (Büro)
- die Arbeit mit dem Automatischen Melksystem (AMS)
- die Stallarbeit im Boxenlaufstall (Stall)
- die Sonderarbeiten (Sonderarbeiten)
- die Fütterung (Füttern) und
- die Versorgung der Kälber (Kälber)

gewählt. Diese Arbeitsvorgänge wurden wiederum in insgesamt 29 Arbeitsteilvorgänge unterteilt.

Für die Modellbetriebe wurde für das Wirtschaftsjahr 2001/02 nach der DLG-Betriebszweigabrechnung „Milchviehhaltung mit Färsenaufzucht“ eine Vollkostenrechnung mit der Bewertung der im Eigentum befindlichen Faktoren Boden, Kapital und Lieferrechte sowie der nicht entlohnten Familienarbeitskräfte durchgeführt. Die Betriebszweigabrechnung wird in drei Stufen (Direktkostenfreie Leistung, Gewinn des Betriebszweiges sowie kalkulatorisches Betriebszweigergebnis) erstellt. Dabei ergibt sich die Direktkostenfreie Leistung aus der Gegenüberstellung von Leistungen und Direktkosten des Betriebszweiges. Der Gewinn des Betriebszweiges ergibt sich durch die Subtraktion der übrigen Kosten von der Direktkostenfreien Leistung. Für das kalkulatorische Betriebszweigergebnis werden vom Gewinn des Betriebszweiges noch die Ansätze für Faktorkosten abgezogen.

Die Daten wurden mit Erhebungsbögen auf Basis der Jahresabschlüsse und Abrechnungen sowie einem persönlichen Gespräch mit den Betriebsleitern erfasst.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Arbeitswirtschaft

##### 3.1.1 Arbeitszeitaufwand

Bei Betrachtung des Arbeitszeitaufwandes konnten für den Betrieb Reinmiedl mit 110 Kühen insgesamt 4,5 APmin/Kuh und Tag ermittelt werden (Abb. 1). Auf fast gleich hohem Niveau lag der Betrieb Jünck (72 Kühe) mit 4,7 APmin/Kuh und Tag. Der Betrieb Feldhaus benötigte 3,8 APmin/Kuh und Tag bei 72 zu melkenden Kühen. Für den Betrieb Biechl mit der geringsten Anzahl zu melkender Kühe (61 Kühe) wurde mit 5,2 APmin/Kuh und Tag der größte Arbeitszeitaufwand ermittelt.

Für den Arbeitsvorgang „Büroarbeiten“ wurden Zeiten von 0,2 bis 0,56 APmin/Kuh und Tag gemessen. Bei der Stallarbeit variierte der Zeitaufwand in einem Bereich von 1,12 bis 1,62 APmin/Kuh und Tag.

In Bezug auf die Arbeit mit dem AMS hatte der Betrieb Feldhaus mit 0,14 APmin/Kuh und Tag einen auffällig geringen Arbeitszeitaufwand im Vergleich zu den anderen Betrieben, die dafür 0,4; 0,84 bzw. 1,06 APmin/Kuh und Tag benötigten. Ebenfalls lag der Betrieb Feldhaus bei den Sonderarbeiten, zu denen auch das Anlernen neuer Tiere gerechnet wurde, auf niedrigem Niveau.

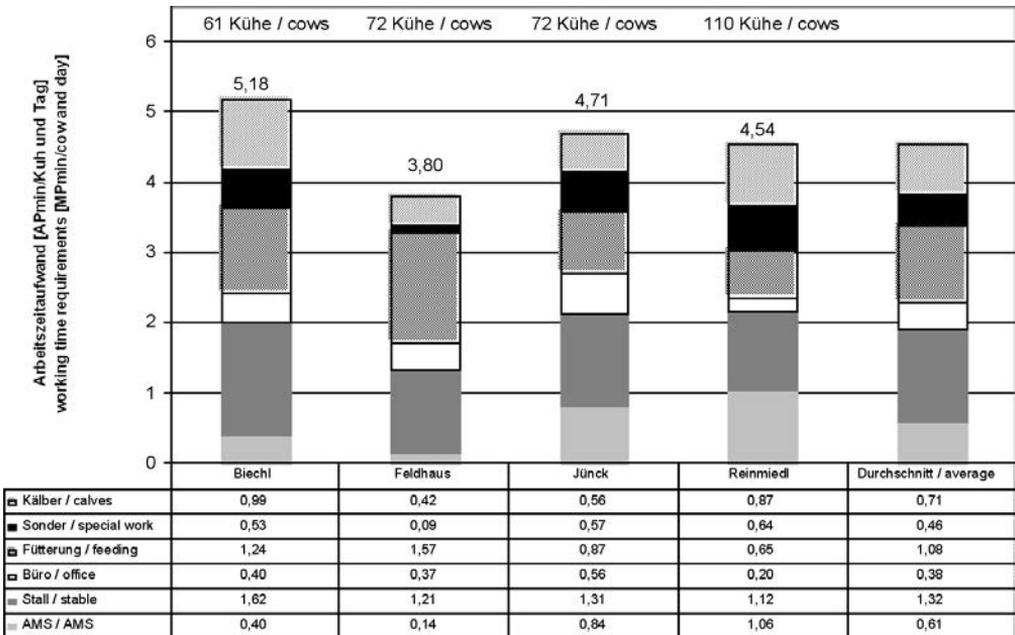


Abb. 1: Durchschnittlicher täglicher Arbeitszeitaufwand der 4 Modellbetriebe  
 Mean value of required working time on 4 farms

### 3.1.2 Arbeitsablauf

In Betrieben mit konventioneller Melktechnik sind die täglichen Arbeitsroutinen üblicherweise durch zweimaliges Melken und Füttern geprägt. Diese Kombination ist dagegen bei Betrieben mit AMS häufig aufgelöst, so dass sich hier andere Arbeitsabläufe über den Tag ergeben können.

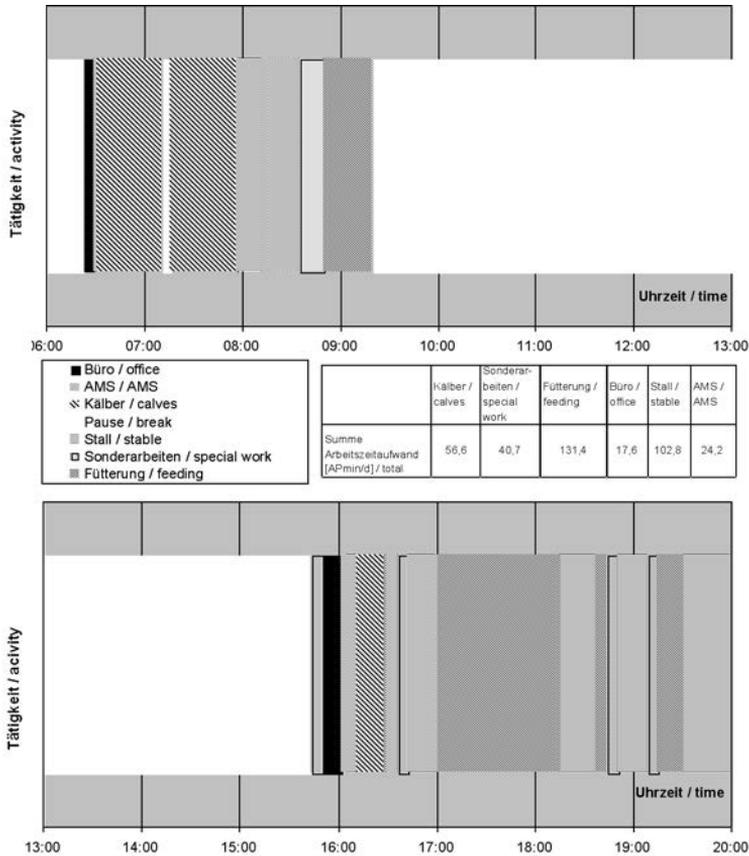


Abb. 2: Arbeitsvorgänge im Tagesverlauf (Betrieb Biechl, 29.10.02)  
 Working scheme (farm Biechl, 29.10.02)

Abbildung 2 zeigt exemplarisch den erfassten Arbeitsablauf für den Betrieb Biechl am 29.10.02. Die jeweiligen Tätigkeiten werden durch einen Zeitstrahl dargestellt, wobei die unterschiedlichen Arbeitsvorgänge mit der jeweiligen Zeitdauer aufgetragen sind. Aus der Darstellung wird deutlich, dass die Arbeit im Milchviehbereich hauptsächlich morgens (6:30 Uhr bis 9:00 Uhr) und abends (ca. 16:00 Uhr bis 20:00 Uhr) getätigt wird. Die einzelnen Arbeitsvorgänge wurden dabei in unterschiedlicher Reihenfolge und Häufigkeit durchgeführt. Anzumerken ist hier vor allem die gemeinsame Nutzung eines Futtermischwagens und die

zweitägige Futtervorlage, so dass diese Tätigkeit am Messtag abends einen großen Zeitblock darstellt.

### 3.2 Wirtschaftlichkeit

Aus der Vollkostenrechnung ergaben sich für die Modellbetriebe Gesamtkosten in Höhe von 32,1 bis 44,6 ct/kg Milch. Bei allen Betrieben hatten die Direktkosten mit durchschnittlich 40 % den höchsten Anteil an den Gesamtkosten (Abb. 3). Die Faktorkosten stellten mit ca. 19 % den zweitgrößten Kostenblock dar. Der Anteil der Kosten für das Melken variierte in einem Bereich von 10 bis 16 %. Die übrigen Kostenblöcke (Arbeitserledigungskosten, Gebäudekosten, Kosten für Lieferrechte, sonstige Kosten und Kosten für die Färsenaufzucht) lagen bei allen vier Betrieben jeweils unter 10 % (Ausnahme Betrieb Jünck, der durch Aussiedlung höhere Gebäudekosten hatte).

Bei Betrachtung der Melkkosten lag die Abschreibung des AMS in einem Bereich von 2,4 bis 4,2 ct/kg Milch. Die variablen Kosten für das AMS schwankten zwischen 1,6 bis 1,9 ct/kg Milch.

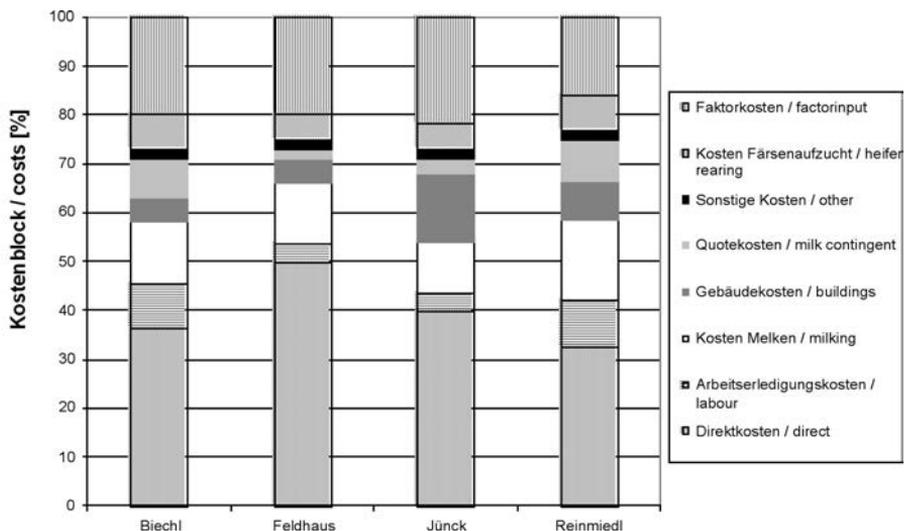


Abb. 3: Prozentuale Verteilung der einzelnen Kostenblöcke in der Milchviehhaltung (4 Modellbetriebe)  
*Relation of costs for different components in dairy husbandry (4 farms)*

Durchschnittlich wurde mit der Milchviehhaltung eine Gesamtleistung von 40,4 ct/kg Milch erreicht, bei einer Schwankungsbreite von 36,8 bis 44,1 ct/kg Milch. Ausgehend von der jeweils erzielten Gesamtleistung ergaben sich Direktkostenfreie Leistungen zwischen 19,0 und 30,8 ct/kg Milch. Für den Gewinn des Betriebszweigs wurden in der vorliegenden Untersuchung Werte zwischen 1,8 und 14,1 ct/kg Milch ermittelt. Werden davon noch die Faktorkosten abgezogen, so erzielten die Modellbetriebe ein kalkulatorisches Betriebszweigergebnis in Höhe von -7,8 bis 6,7 ct/kg Milch.

## 4 Schlussfolgerungen

Auf Betrieben mit AMS wird die körperlich anstrengende Melkarbeit nahezu vollständig durch Technik erledigt. Dadurch können deutlich flexiblere Arbeitszeiten in der Milchviehhaltung realisiert werden. In der Praxis wird dieses Potential allerdings unterschiedlich genutzt. So variierte die zeitliche Verteilung, Häufigkeit und Dauer von Arbeitsvorgängen deutlich von Betrieb zu Betrieb. Es konnten sowohl gut strukturierte als auch etwas ungleichmäßigere Tagesabläufe beobachtet werden, wobei gut strukturierte Abläufe tendenziell zu einer Reduzierung der Arbeitszeit führten.

Die durch Abschreibung des AMS bedingten höheren Kosten für das Melken können einzelbetrieblich vor allem gerechtfertigt sein, wenn eine bessere Verwertung der frei werdenden Arbeitszeit möglich ist oder eine Aufstockung des Tierbestandes ohne zusätzliches Personal für die Melkarbeit realisiert werden soll. Bei Auswertung der Betriebsergebnisse wurde außerdem deutlich, dass die Milcherzeugung maßgeblich von den Futterkosten und den direkten Kosten für die Färsenaufzucht abhängig ist. Erfolgreiche Milchviehhaltung setzt deshalb ein Kostenbewusstsein voraus, das bei der zielgerichteten Aufzucht der Jungtiere beginnt und sich bei effizienter Fütterung, Stallbau sowie der Melktechnik fortsetzt.

Es ist zu erwarten, dass die Automatisierung des Melkens bei sinkenden Preisen für die Technik in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird und damit zur arbeitswirtschaftlichen Entlastung (insbesondere bei mittleren Betriebsgrößen) beiträgt.

## 5 Literatur

BAUMEISTER, J.; LEHMANN, B.; FREIBERGER, F.; HARMS, J.; WENDL, G.; KLINDT WORTH, K.; HARTMANN, W. (2004): Milchviehställe mit automatischen Melkverfahren. Ergebnisse des BMVEL-Modellvorhaben „Landwirtschaftliches Bauen 2001/ 2003“. In: Landtechnik 59, H. 6, S. 306–308.

LEHMANN, B.; HARMS, J.; BAUMEISTER, J.; KOWALEWSKY, H.-H.; FÜBBEKER, A. (2001): Arbeitswirtschaft in Betrieben mit automatischen Melkverfahren und Melkständen. In: Tagungsband zur 5. Internationalen Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 6.–7. März 2001. Hrsg.: Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim. S. 254–259.

LIEBLER, J.; SCHÖN, H.; KOWALEWSKY, H.-H.; FÜBBEKER, A. (2000): Arbeitsorganisation und Arbeitszeitbedarf beim automatischen Melken. In: Automatische Melksysteme, KTBL-Schrift 395, Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt. S. 117–122.

## Funktionssicherheit von Automatischen Melksystemen *Cluster fixation accuracy of automatic milking systems*

ISABELLE NEUFFER<sup>1</sup>, LORENZ GYGAX<sup>2</sup>, RUDOLF HAUSER<sup>2</sup>, CHRISTINE KAUFMANN<sup>3</sup>,  
BEAT WECHSLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pranthochstraße 2, D-86150 Augsburg

<sup>2</sup> Bundesamt für Veterinärwesen, Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, Agroscope Fat Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

<sup>3</sup> Wiederkäuerklinik, Universität Bern, Bremgartenstrasse 109a, CH-3001 Bern

**Schlüsselwörter:** Automatisches Melksystem, AMS

**Keywords:** Automatic milking system, AMS

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen des Schweizer Prüf- und Bewilligungsverfahrens für serienmässig hergestellte Stalleinrichtungen wurden auf insgesamt 12 Praxisbetrieben Melkungen in zwei verschiedenen AMS (AMS-1, AMS-2) mit Melkungen in Auto-Tandem-Melkständen (ATM) verglichen. In die Auswertung einbezogen wurden 1697 Melkungen von 234 Kühen. Der Anteil erfolgreicher Melkungen war in AMS-1 (97,8 %) leicht höher als in AMS-2 (93,5 %). Während in der Eintrittsdauer und der Zeit bis Verlassen der Melkbox nach der Melkung zwischen den Systemen keine Unterschiede bestanden, wurden in AMS-2 deutlich längere Melkvorbereitungen und in den ATM längere Melkphasen beobachtet. Die Melkfrequenz war in den AMS etwas höher als in den ATM.*

### **Summary**

*Automatic milking systems are subjected to the Swiss testing and authorisation procedure for mass-produced animal housing systems. On 12 practical farms, milkings in two different AMS (AMS-1, AMS-2) were compared to milkings in auto-tandem-parlours (ATM). 1697 milkings of 234 cows were included. In AMS-1, a higher percentage of successful milkings was observed, compared to AMS-2 (97.8 % vs. 93.5 %). No differences between the systems were found for the duration of entering and leaving the milking stall. Longer milking preparations were measured in AMS-2, whereas in ATM, the milking phases were longer. Compared to the ATM, the cows in the AMS had higher milking frequencies.*

## 1 Einleitung

Automatische Melksysteme sind in der Schweiz im Unterschied zu anderen Melksystemen dem Prüf- und Bewilligungsverfahren (Art. 5, Tierschutzgesetz) unterstellt, da während des Melkvorganges keine Überwachung durch eine Betreuungsperson sichergestellt ist. Die zur Bewilligung angemeldeten Fabrikate werden bei einer praktischen Untersuchung auf ihre Tiergerechtheit geprüft (WECHSLER und OESTER, 1998). Im Rahmen dieser Untersuchung, die auch das Verhalten der Tiere beim Melken und physiologische Parameter einbezog, wurden Daten zur Funktionssicherheit und zur Dauer verschiedener Phasen des Aufenthaltes in der Melkbox erhoben. Von besonderem Interesse waren hierbei die Anteile an misslungenen Melkungen, d. h. Melkungen, bei denen es dem AMS nicht gelang, das Melkzeug korrekt anzusetzen und die Kuh somit angerüstet, aber nur teilweise oder ungemolken die Melkbox verliess.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen, die jeweils nur auf einem Betrieb durchgeführt wurden, sind in unsere Studie pro Melksystem 4 Praxisbetriebe einbezogen worden, die mit einem von 2 AMS-Fabrikaten oder mit Auto-Tandem-Melkständen ausgerüstet waren.

## 2 Tiere, Material und Methoden

Die Untersuchung wurde auf 12 Schweizer Praxisbetrieben durchgeführt. Je 4 Betriebe waren mit Lely Astronaut AMS (AMS-1), DeLaval VMS (Version 2.2, AMS-2) oder Autotandem-Melkständen (ATM) ausgestattet. Alle Melksysteme waren zum Zeitpunkt des Versuches seit mindestens 6 Monaten in Betrieb. Die im Modell Lely Astronaut serienmässig eingebaute elektrische Austreibhilfe war nicht in Betrieb, da nach Art. 15 der Schweizer Tierschutzverordnung mit Ausnahme des Kuhtrainers keine elektrisierenden Steuereinrichtungen im Tierbereich zugelassen sind. Mechanische Austreibhilfen sind erlaubt, sofern sichergestellt ist, dass diese nicht zu Schäden am Tier führen.

Pro Betrieb wurden in Zusammenarbeit mit dem Landwirt 20 Tiere als Fokustiere für die Datenerhebungen ausgewählt, die gesund waren, keine Lahmheit und beim Melken ein ruhiges Verhalten zeigten. Hinsichtlich Alter und Laktationsstadium stellten diese Tiere einen Querschnitt der Herde dar.

Die Datenerfassung erfolgte kontinuierlich an drei Tagen. Je nach Betrieb wurden bis zu vier Kameras installiert, die die Aufnahme von Euter und Hinterbeinen der Kühe beim Melken ermöglichten. Erfasst wurden zum einen zeitliche Parameter (alle Melksysteme, Tab. 1), zum anderen die Funktionssicherheit (nur AMS). Hierbei wurde der Anteil erfolgreicher Melkungen an allen Melkungen der Fokustiere im Versuchszeitraum erfasst. Als erfolgreich galt eine Melkung, wenn es dem AMS gelang, alle vier Melkbecher an den vier Strichen korrekt anzusetzen. 1697 Melkungen von 234 Kühen gingen in die Auswertung ein.

Die multivariate statistische Bearbeitung der Daten erfolgte mit R 1.9.0, wobei lineare gemischte Effekte Modelle genutzt wurden. Melksystem, Zellzahlmedian, Dauer der Melkphase, Laktationstag, Anzahl Laktationen und die mittlere Tagesmilchleistung im Versuchszeitraum wurden als fixe erklärende Variablen im Modell berücksichtigt. Die Zielvariablen wurden log-transformiert. Die hierarchische Schachtelung des Versuches wurde mit zufälligen Effekten für die einzelnen Tiere und die Betriebe berücksichtigt. Da sich die Zwischenmelkzeit und die Rasse systematisch und deutlich zwischen den Systemen unterschieden, können

diese Einflussfaktoren nicht direkt als erklärende Variablen mitberücksichtigt, sondern nur zur Interpretation von Systemunterschieden benutzt werden. Aus dem gleichen Grund wurde die Analyse der Einflüsse auf die Melkvorbereitungsdauer für jedes Melksystem separat durchgeführt. Die Analyse der Einflüsse auf die Zwischenmelkzeit wurde aufgrund der festen Zwischenmelkzeiten in den ATM auf die AMS-Systeme begrenzt.

Tab. 1: Definitionen der erfassten Zeitdauern für die Melkphasen  
*Definitions of investigated phases of the milking process*

Phase	Definition
Eintreten	Alle vier Beine in der Melkbox bis erste Berührung des Tieres durch einen Teil des Melksystems oder den Melker
Melkvorbereitung	Erste Berührung des Tieres durch einen Teil des Melksystems oder den Melker bis Ende des Ansetzvorgangs (alle vier Melkbecher angesetzt)
Melken	Ende des Ansetzvorganges bis Abnahme des letzten Melkbechers
Verlassen	Abnahme des letzten Melkbechers bis alle vier Beine ausserhalb der Melkbox
Aufenthaltsdauer	Eintreten + Vorbereiten + Melken + Verlassen
Entering the milking stall	All four legs in the milking stall until first contact between animal and milking system or milker
Milking preparation	First contact between animal and milking system or milker until successful attachment of all teat cups
Milking	End of teat cup attachment until removal of the last teat cup
Leaving the milking stall	Removal of last teat cup until all four legs are outside the milking stall
Entire milking	Entering + Preparation + Milking + Leaving

Zur Beschreibung der Daten wurden für die Zielvariablen Mediane für jedes einzelne Tier und aus diesen wiederum Mediane und Interquartildifferenzen (IQR) für die Melksysteme berechnet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Funktionssicherheit

Basierend auf den Einzeltiermedianen erreichte AMS-1 eine Ansetzsicherheit von 100 % (IQR 0) (alle Betriebe Median 100 %, IQR 0) und AMS-2 100 % (IQR 9.8) (Einzelbetriebe: Mediane von 95,8 %, IQR 14.3 bis 100 %, IQR 0). Werden zur Berechnung des Ansetzerfolges die einzelnen Melkungen eingesetzt, so erreichte AMS-1 eine Ansetzsicherheit von 97,8 % (Einzelbetriebe: 96,2–99,5 %) und AMS-2 93,5 % (Einzelbetriebe: 91,5–95,2 %).

### 3.2 Dauern einzelner Melkphasen

Die längste Eintrittsdauer wurde in AMS-2 gemessen, gefolgt von AMS-1 und ATM ( $F_{2,9} = 6,10$ ,  $p = 0,0211$ , Tab. 2).

Die Länge der Melkvorbereitung war technisch bedingt zwischen den Melksystemen deutlich verschieden (Tab. 2). Bei AMS-1 war die Dauer der Melkvorbereitung erhöht, wenn die Melkdauer kurz war ( $F_{1,529} = 6,97$ ,  $p = 0,0085$ ). Während in AMS-2 keiner der untersuchten Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Vorbereitung hatte, war in den ATM-Betrieben die Dauer der Melkvorbereitung nach längeren Zwischenmelkzeiten erhöht ( $F_{1,284} = 91,88$ ,  $p < 0,0001$ ).

Die Dauer der Melkphase war in den ATM am längsten, verglichen mit den AMS ( $F_{2,9} = 5,71$ ,  $p = 0,0251$ , Tab. 2).

Die Zeitdauer, die die Tiere nach Ende des Melkvorganges benötigten, um die Melkbox zu verlassen, war zwischen den Systemen nicht unterschiedlich (Tab. 2).

Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bestanden in der gesamten Aufenthaltsdauer in der Melkbox bzw. im Melkstand (Tab. 2). Höhere Aufenthaltsdauern wurden bei Kühen mit einer höheren Anzahl an Laktationen ( $F_{1,210} = 11,25$ ,  $p = 0,0009$ ) und höherer mittlerer Tagesmilchleistung ( $F_{1,210} = 8,04$ ,  $p = 0,005$ ) gemessen, während eine kürzere Aufenthaltsdauer zu Beginn der Laktation ( $F_{1,210} = 8,74$ ,  $p = 0,0035$ ) beobachtet wurde.

### 3.3 Melkfrequenz

In der Melkfrequenz pro Tag konnte zwischen den AMS kein Unterschied festgestellt werden (AMS-1 Median 2.5, IQR 0.9; AMS-2 Median 2.4, IQR 0.7). In den ATM wurden die Tiere zweimal täglich gemolken.

Tab. 2: Dauer der verschiedenen Phasen einer Melkung (Median (IQR), in sec) bei zwei Automatischen Melksystemen (AMS-1, AMS-2) und Auto-Tandem-Melkständen (ATM)  
*Duration of different phases of the milking process (Median (IQR), in sec) in two automatic milking systems (AMS-1, AMS-2) and auto-tandem milking parlours (ATM)*

Phase	Melksystem / Milking system		
	AMS-1	AMS-2	ATM
Eintreten / <i>Entering the milking stall</i>	16 (4)	19 (8)	7 (15)
Melkvorbereitung / <i>Milking preparation</i>	76 (19)	138 (25)	29 (5)
Melken / <i>Milking</i>	282 (179)	270 (164)	382 (70)
Verlassen / <i>Leaving the milking stall</i>	18 (5)	22 (7)	18 (10)
Aufenthaltsdauer / <i>Entire milking</i>	411 (149)	464 (148)	472 (140)

## 4 Diskussion

Beim Vergleich der in dieser Untersuchung festgestellten Ansetzsicherheit bei den beiden AMS mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen muss beachtet werden, dass in dieser Studie nicht die Ansetzsicherheit bei allen Kühen der Herden, sondern nur bei einem ausgewähl-

ten Teil der Tiere ausgewertet worden ist. Dies geschah, um eine Beeinflussung der Daten z. B. durch unruhige oder lahme Tiere zu vermeiden, denn das Ziel war eine Beurteilung der technischen Möglichkeiten des AMS bei Tieren, die den Anforderungen der AMS-Produzenten entsprechen. Es ist daher zu vermuten, dass der Anteil erfolgreicher Melkungen, bezogen auf die gesamten Herden, einen niedrigeren Wert aufweisen würde.

Zur Ansetzsicherheit beim Lely Astronaut existieren mehrere Studien, in denen ein Anteil erfolgreicher Melkungen von 95–98 % festgestellt wurde (HÜGLE et al., 1995; WENDL et al., 1999; UMSTÄTTER, 2002), was mit 96,2–99,5 % bei dieser Studie gut übereinstimmt. Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft mass bei der Prüfung des Lely Astronaut einen Anteil erfolgreicher Melkungen von 95–97 %, der sich in einer weiteren Prüfung mit einer weiterentwickelten Software auf 99 % erhöhte (HUSCHKE und KLIMETSCHKE, 2000; HUSCHKE, 2002). In einer schwedischen Untersuchung (OLOFSSON et al., 2001) erreichte DeLaval VMS auf 5 Betrieben einen mittleren Anteil erfolgreicher Melkungen von 95 % (Einzelbetriebe: 90–97 %), was gut mit den hier beobachteten 91,5–95,2 % übereinstimmt.

Ähnliche Dauern bis zur ersten Euterberührung wurden in anderen Studien im Lely Astronaut AMS (HAGEN et al., 2004:  $17 \pm 15$  sec (Mittelwert  $\pm$  StdAbw); HOPSTER et al., 2002:  $17 \pm 1,4$  sec (Mittelwert  $\pm$  StdFehler)) gemessen.

Melkvorbereitungen von 108 und 111 sec Dauer wurden in früheren Untersuchungen im Lely Astronaut gemessen (HAGEN et al., 2004; HOPSTER et al., 2002). Der Unterschied zu unseren Ergebnissen von 76 sec könnte in einer unterschiedlichen Einstellung der Reinigungsdauer in der Software begründet sein. Die längere Vorbereitungsdauer im DeLaval VMS von 138 sec ist mit dem unterschiedlichen technischen Aufbau der Fabrikate zu erklären. Der Einfluss der Zwischenmelkzeit auf die Dauer der Melkvorbereitung bei den ATM ist vermutlich dadurch bedingt, dass bei allen ATM-Betrieben von der Abend- zur Morgenmelkung eine längere Zeitspanne verstrich als umgekehrt und bei der Euterreinigung am Morgen ein erhöhter Aufwand geleistet werden musste.

Kürzere Melkdauern in den AMS im Vergleich zu den ATM sind mit der höheren Melkfrequenz und evtl. auch Unterschieden im Milchfluss zu erklären. Auch HAGEN et al. (2004) fanden deutlich kürzere Melkphasen bei den Tieren, die im AMS gemolken wurden (AMS: 324 sec, Melkstand: 494 sec), während dieser Unterschied in einer anderen Studie nur wenig ausgeprägt war (HOPSTER et al., 2002: AMS: 426 sec, Melkstand: 431 sec).

Obwohl in AMS-1 keine Austreibhilfe vorhanden war, verliessen die Kühe die Melkbox ebenso schnell wie in den ATM und in AMS-2, das auf den Rücken der Tiere gerichtete Druckluftimpulse einsetzt. Mit Austreibhilfe wurden nur wenig kürzere Zeiten erreicht (HOPSTER et al., 2002:  $12 \pm 0,4$  sec, Mittelwert  $\pm$  StdFehler). Nach unseren Ergebnissen erscheint eine Austreibhilfe bei AMS nicht nötig.

Die in den AMS beobachtete Melkfrequenz von 2,5 (AMS-1) bzw. 2,4 (AMS-2) lag im Bereich der Ergebnisse anderer Studien (AMS-1: HAGEN et al. (2004):  $2,26 \pm 0,55$  (Mittelwert  $\pm$  StdAbw), Huschke und Klimetschek (2000): 2,4–2,8; AMS-2: OLOFSSON et al. (2001): 2,5 (2,3–2,7 auf 5 Betrieben)).

Um für die Tiere einen gleichmässigen Ablauf der Melkungen sicherzustellen, sollte die Ansetzsicherheit von AMS, die bereits einen hohen Wert erreicht hat, weiter verbessert werden. Dies würde auch einer optimalen Auslastung der Anlagen dienen, da langandauernde, erfolglose Ansetzvorgänge die Verfügbarkeit der Melkbox für die Tiere einschränken.

## 5 Literatur

- HAGEN, K.; LEXER, D.; PALME, R.; TROXLER, J.; WAIBLINGER, S. (2004): Milking of Brown Swiss and Austrian Simmental cows in a herringbone parlour or an automatic milking unit. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 88: 209–225.
- HOPSTER, H.; BRUCKMAIER, R. M.; VAN DER WERF, J. T. N.; KORTE, S. M.; MACUHOVA, J.; KORTE-BOUWS, G.; VAN REENEN, C. G. (2002): Stress responses during milking; Comparing conventional and automatic milking in primiparous dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 3206–3216.
- HÜGLE, T.; ANDREE, H.; BOLL, E. (1999): Ansatzgenauigkeit des Melkzeuges bei einem automatischen Melksystem. *Agrartechnische Forschung* 5: 68–77.
- HUSCHKE, W.; KLIMETSCHKE, H.-J. (2000): Prüfbericht 4916. Melkroboter Lely Astronaut®. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), Groß-Umstadt.
- HUSCHKE, W. (2002): Prüfbericht 5074. 1. Ergänzungsbericht zum Prüfbericht 4916. Melkroboter Lely Astronaut®. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Groß-Umstadt.
- OLOFSSON, J.; PETTERSSON, G.; WIKTORSSON, H.; EKMAN, T.; SUNDBERG, M. (2001): Teknisk Provning av DeLaval's automatiska mjölkningssystem (VMS™). Rapport 249. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- UMSTÄTTER, C. (2002): Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung. Ph.D.-Thesis, Humboldt-Universität, Berlin.
- WECHSLER, B. ; OESTER, H. (1998): Das Prüf- und Bewilligungsverfahren für Stalleinrichtungen. *Agrarforschung* 5: 321–324.
- WENDL, G.; SCHÖN, H.; HARMS, J.; PURUCKER, S.; PIRKELMANN, H. (1999): Tier- und Melkverhalten bei automatischen Melksystemen – Ergebnisse von Einsatzuntersuchungen mit Einboxenanlagen. In: Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan (Hrsg.): Tagung: Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. pp.179–184.

## On-farm-Milchanalyse – eine vielversprechende Herausforderung *On-farm-analysis of milk – a promising challenge*

DIETER ORDOLFF

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig;

Institut für Chemie und Technologie der Milch, Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel,  
Standort Kiel, D-24103 Kiel

**Schlüsselwörter:** Milchinhaltstoffe, Analytik

**Keywords:** Milk components, Analysis

### **Zusammenfassung**

*Die korrekte Bestimmung der Milchinhaltstoffe ist ein wichtiger Bestandteil der Milchleistungsprüfung im Rahmen der Zuchtwertschätzung und des Herdenmanagements.*

*Seit längerem wird daher über die Möglichkeit der Milchanalyse auf dem Erzeugerbetrieb diskutiert, die neben der Routineanwendung im Rahmen der Milchleistungsprüfung auch Fortschritt für die Herdenführung bedeuten würde. Der Prototyp eines Systemes, entwickelt von France Contrôle Laitier (FCL), wurde auf der Versuchsstation der FAL, Braunschweig getestet. Die Analysenwerte für Fett, Eiweiß und Laktose wichen nicht mehr als  $\pm 0,05$  % von den in einem Zentrallabor untersuchten Referenzproben ab. Mittlerweile sind auch andere derartige Geräte auf dem Markt oder kurz vor der Einführung. Diese Technologie nützt dem Erzeugerbetrieb, vor allem im Hinblick auf Fütterung und rechtzeitige Mastitiserkennung, sie wird jedoch auch Einflüsse auf das Aktivitätsprofil der zentralen Labors haben.*

### **Summary**

*A reliable determination of milk components is an essential part of milk recording activities related to animal breeding and to herd management.*

*On farm milk analysis would be interesting not only for milk recording purposes but it would also improve the efficiency of herd management. A prototype of such a system, developed by France Contrôle Laitier, was tested at the experimental farm of FAL at Braunschweig, Germany. The results for fat, protein and lactose, corresponded within a bias  $\pm 0.05$  % with the results obtained by a local reference laboratory. Meanwhile some other devices for on farm milk analysis are known to be on the market or close to be presented.*

*This technology probably will be helpful for the farmer, especially with respect to optimization of cow feeding and perhaps for early detection of mastitis, but it also will change the activity profiles of central milk analyzing laboratories.*

## 1 Einleitung

Die korrekte Bestimmung der Milchinhaltsstoffe ist nicht nur entscheidend für die Festlegung des Milchpreises, der dem Erzeuger gezahlt wird, sie ist auch ein wichtiger Bestandteil der Milchleistungsprüfung im Rahmen der Zuchtwertschätzung.

In stationären Labors ist der Einsatz der Nah-Infrarot-(NIR-)Technik seit langem etablierter Standard. Trotz immer schnellerer Analysensysteme und effizienter Datenübertragung vergehen jedoch rund zwei Tage oder mehr zwischen der Gewinnung der Milchproben und der Rückmeldung der Ergebnisse an den Erzeugerbetrieb.

Für bestimmte Aufgaben des Herdenmanagements, z. B. im Hinblick auf Beurteilung der Eutergesundheit, wäre jedoch eine raschere Verfügbarkeit der Analysenergebnisse hilfreich. Daher wird seit längerem über die Möglichkeit der Milchanalyse auf dem Erzeugerbetrieb diskutiert, die neben der Routineanwendung im Rahmen der Milchleistungsprüfung, die dann ohne Probenversand ablaufen könnte, auch Fortschritt für die Herdenführung bedeuten würde.

Als wegweisend ist in dieser Hinsicht ein Projekt der französischen Milchkontrollorganisation France Contrôle Laitier (FCL) anzusehen, welches bereits vor etwa 25 Jahren initiiert wurde (Tabelle 1).

Tab. 1: Ablauf des französischen Projektes zur Entwicklung eines on-farm-Analysensystems

1979:	Erste Ideen
1986:	Gründung einer Arbeitsgruppe für automatisierte Milchleistungsprüfung; Ziel: NIR-Analyse getrockneter Milchtropfen
1993:	Überlegungen zur Kombination von NIR-Technik und Faseroptik
1995:	Fertigstellung und Testeinsatz der Prototypen

Der FAL wurde von FCL der Einsatz eines Prototypen des Analysengerätes auf der Versuchstation in Braunschweig ermöglicht.

Im Rahmen einer von IDF im Jahre 2003 durchgeführten Veranstaltung wurde die Nutzung von Ultraschallsignalen für ein mobiles Gerät zur Milchanalyse beschrieben (VAN DEN BIJGARD, 2003). Diese Einrichtung wurde unter anderem für Herdenmanagementzwecke in brasilianischen Milchviehanlagen eingesetzt

Die Ergebnisse eines kompakten, nicht für die Anforderungen der Milchleistungsprüfung ausgelegten Gerätes, welches dieses Messverfahren nutzt, wurden in einer weiteren Untersuchung geprüft. Hier wurden unter anderem die Milchinhaltsstoffe Fett, Eiweiß und Laktose gemessen. Zusätzlich bestünde die Möglichkeit, durch einen externen Sensor den pH-Wert und die Leitfähigkeit der Milchprobe zu bestimmen.

Beide untersuchten Systeme bieten die Möglichkeit, die Analysenergebnisse zur weiteren Verarbeitung an einen Rechner zu übergeben.

## 2 Material und Methode

Für die Messungen am FCL-System wurden von der Milchkuhherde der Versuchsstation der FAL in zwei Untersuchungsreihen von jeweils rund 50 Gemelken repräsentative Doppelmilchproben gezogen. Jeweils ein Satz der Proben wurde zur Bestimmung der Milch Inhaltsstoffe an das Referenzlabor des zuständigen Landeskontrollverbandes versandt. Von dem zweiten Probensatz wurden die Milch Inhaltsstoffe durch das Versuchsgerät bestimmt. Anhand der von dem Referenzlabor zur Verfügung gestellten Untersuchungsergebnisse wurden die im Auswertungsprogramm des Systems vorhandenen Algorithmen korrigiert und die nach der Kalibrierung erzielten Ergebnisse mit den Referenzwerten des LKV-Labors verglichen.

In der Untersuchung zur Beurteilung des Kompaktgerätes wurden Doppelproben von 60 Gemelken gezogen. Die Bestimmung der Milch Inhaltsstoffe und die Bewertung der Ergebnisse erfolgte analog zu dem Vorgehen mit dem FCL-System, mit dem Unterschied, dass von dem Versuchsgerät nur eine einfache Untersuchung der Proben durchgeführt wurde.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

In den Tabellen 2 und 3 sind die mit dem FCL-Prototypen erzielten Ergebnisse zusammengefasst.

Die Messwerte dieser Versuchsanlage weichen für die berücksichtigten Milch Inhaltsstoffe nur geringfügig von den Daten des Referenzlabors ab. Differenzen von mehr als  $\pm 0,05$  % Fett wurden nicht gefunden (Abb. 1). Bei dem Parameter Eiweiß zeigte sich in beiden Messreihen lediglich eine tendenzielle Unterschätzung bei höheren Konzentrationen. Es ist davon auszugehen, dass dieses System auch im Rahmen der Milchleistungsprüfung einsetzbar ist.

Tab. 2: Übersicht über die Milchzusammensetzung der Referenzproben (FCL-System)

	Fett (%)	Eiweiß (%)	Laktose (%)
<b>Reihe 1</b>			
Mittelwert	3,09	3,07	4,75
Stabw.	1,32	0,22	0,20
r(Versuch/Ref.)	0,99	0,95	0,87
<b>Reihe 2</b>			
Mittelwert	3,00	3,27	4,82
Stabw.	1,17	0,20	0,18
r(Versuch/Ref.)	1,00	0,99	0,99

Tab. 3: Abweichungen der Versuchsproben von den Referenzwerten (FCL-System)

Anzeigefehler	Fett (%)	Eiweiß (%)	Laktose (%)
<b>Reihe 1</b>			
Mittelwert	0,005	- 0,008	0,021
Stabw.	0,225	0,072	0,114
r(Diff./Ref.)	- 0,19	- 0,24	0,00
<b>Reihe 2</b>			
Mittelwert	0,012	0,005	0,008
Stabw.	0,030	0,030	0,030
r(Diff./Ref.)	0,00	- 0,25	0,13

Die Ergebnisse des ersten Einsatzes des Kompaktgerätes sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengefasst. Da, anders als bei der FCL-Anlage, der beschriebenen Messreihe keine Kalibrierung vorgeschaltet werden konnte, spiegelt diese nicht die mit diesem Geräte tatsächlich erzielbare Analysenqualität wieder. Die vergleichsweise linearen Zusammenhänge zwischen Referenzwerten der Inhaltsstoffe und dem Anzeigefehler lassen den Schluss zu, dass mindestens für die Parameter Eiweiß und Laktose das Messverhalten optimiert werden kann. Durch weitere Messungen muß geprüft werden, ob die Gewinnung der Doppelprobe oder das Messverhalten des Gerätes für die deutlichere Streuung der Anzeigefehler des Parameters Fett verantwortlich ist.

Tab. 4: Übersicht über die Milchzusammensetzung der Referenzproben (Kompaktgerät)

	Fett (%)	Eiweiß (%)	Laktose (%)
Mittelwert	5,35	3,17	4,75
Stabw.	1,93	0,13	0,20
r(Versuch/Ref.)	0,98	0,83	-0,21

Tab. 5: Abweichungen der Versuchsproben von den Referenzwerten (Kompaktgerät)

Anzeigefehler	Fett (%)	Eiweiß (%)	Laktose (%)
Mittelwert	-0,01	-0,24	0,06
Stabw.	0,42	0,30	0,37
r(Diff./Ref.)	-0,01	-0,97	-0,85

## 4 Fazit

Die Erwartungen bezüglich der Verfügbarkeit von Systemen zur Milchanalyse unmittelbar auf dem Erzeugerbetrieb sind nicht mehr als utopisch anzusehen. Neben einer effizienten Opti-

mierung von Futterrationen kann diese Technik, zum Beispiel über den Parameter Laktose, auch zu einer rascheren Erkennung von Veränderungen der Eutergesundheit beitragen.

Den Milchkontrollorganisationen ist bewusst, dass sich die Aufgabenprofile der zentralen Untersuchungslabors deutlich verändern könnten, denn einerseits ist mit der Reduzierung von Routineuntersuchungen, andererseits mit der Zunahme von Überprüfungen der Messgenauigkeit von on-farm-Anlagen zu rechnen.

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Aspekt ist die Verringerung bzw. der Wegfall der staatlichen Förderung der Milchleistungsprüfung. Die dadurch für den Erzeugerbetrieb verursachte Kostensteigerung könnte den Investitionsbedarf für eine on-farm-Anlage unter Umständen rasch überschreiten.

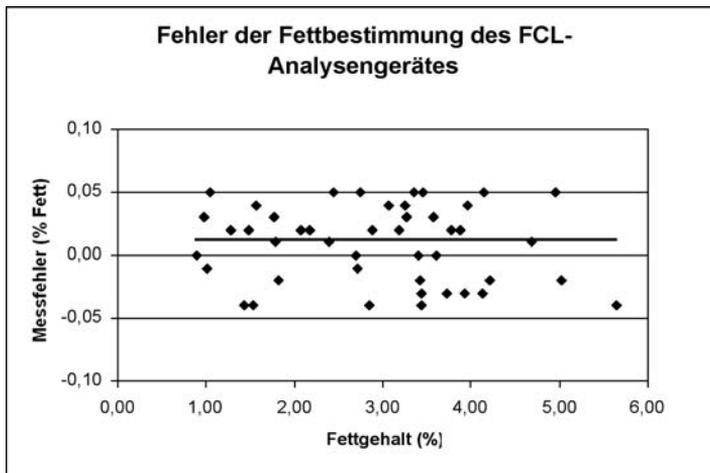


Abb. 1: Messfehler des FCL-Prototyps in Messreihe 2 bei der Bestimmung des Fettgehaltes

## 5 Literatur

VAN DEN BIJGARD, H. (2003): Automated Methods, Small is beautiful! Compilation of Presentations, IDF, JAT Automated Methods.



## Weighing systems for TMR-mixers Wiegesysteme für TMR-Futtermischer

MADS URUP GJØDESEN

The Danish Agricultural Advisory Service, National Centre, Building and Technique, Udkaersvej 15, DK-8200 Aarhus N, Denmark

**Keywords:** TMR-mixer, feeding, inaccurate TMR-mixer

**Schlüsselwörter:** Unpräzise TMR-Futtermischer, Fütterung

### Summary

*The accuracy of the weighing system on TMR-mixers is important. The feed mix depends on the weighing system and if it is calibrated wrongly the cows do not get the wanted quantity. The results show large deviations between the TMR-mixer and the reference weighing system. The average deviation per filling was 6.4 %. 44.7 % of all fillings had a deviation over the acceptable 5 % limit. 19 % of all fillings had a deviation between 10–20 %.*

*Relative positive was the total end weighing. Here were the deviation 2.6 % at an average totalfilling of approx. 4 tons.*

### Zusammenfassung

*Die Genauigkeit des Wiegesystems ist beim Einsatz eines TMR-[Totale-Misch-Rationen]-Futtermischers von entscheidender Bedeutung. Die Futtermischung hängt vom Wiegesystem ab, ist es falsch kalibriert, erhalten die Kühe nicht die gewünschte Futtermenge.*

*Die Ergebnisse zeigen starke Diskrepanzen zwischen den getesteten TMR-Futtermischern und der Referenz-Waage. Die durchschnittliche Abweichung pro Füllung betrug 6,4 %. Über der akzeptablen Abweichung von 5 % lagen 44,7% aller Füllungen. Abweichungen von 10–20 % wurden bei 19 % aller Füllungen registriert.*

*Vergleichsweise positiv fiel das Ergebnis der Endwaage aus: Hier lag die Abweichung bei nur 2,5 % bei einer durchschnittlichen Gesamtfüllmenge von etwa 4 Tonnen.*

## 1 Background

A large number of TMR-mixers have been sold the last 10 years in Denmark. More than 3,500 since 1990, and almost all with electronically weighing systems. The weighing system is used to control the quantity of the different feed components. A deviation in the weighing system causes a difference between the practical and the theoretical feed quantity. Tests from the mid 1990s show that many TMR-mixers have up to 10 % deviation on the weighing system. Two out of seven new TMR-mixers, directly from the manufacture, had smaller deviations on the weight system. This FarmTest should analyse the inaccuracy of the most used TMR-mixers on the Danish market. FarmTest is a short test, typical one-two month, preformed in practise on the farm. The equipment is being tested, and the Farmer interviewed, to solve advantages and disadvantages. The test results are published on [www.farmtest.dk](http://www.farmtest.dk)

## 2 Contents

The TMR-mixer is placed on 20 tons reference weighing plates. The TMR- mixer was filled and the weight is registered after each feed component on both systems. By comparing the registered data for the two weight systems, it was possible to point out the difference. The tested TMR-mixers were:

- JF Feeder VM/PA
- Keenan
- Redrock VC
- Kverneland KD
- Kuhn Euromix I
- RMH VR
- Seko Samurai 3
- Triolet Solomix

All the tested TMR-Mixers were new models with the latest weighing system. 20 TRM-mixers have been tested.

## 3 Results

### 3.1 Deviation per filling

Control of the weighing system on TMR-mixers shows that 44.7 % of all fillings over 200 kg haave a deviation over 5 %. 19 % of these have between 10–20 % deviation. The average deviation for all fillings over 200 kg are 6.4 %. Only fillings over 200 kg are included because the control weight change in 20 kg intervals. This courses large unreal deviations in comparecy with the TMR-mixers 5 kg intervals. The large deviations on fillings over 200 kg means that the practical feeding plans do not match the theoretical plan (Tab. 1).

In most cases the TMR-mixer weighed 2–4 % more then the control weight, so the total weight of the feed is usually below the acceptable 5 % deviation limit (Tab. 2). So overall the results are satisfaction. To avoid large deviations on the weighing system it is recommended

to calibrate the system one time each year. This will eliminate larger errors in the feed handling.

Tab. 1: The different TMR-mixers deviation per filling  
*Abweichungen pro Füllung für die verschiedenen TMR-Mischer*

Brand	Nr. of weighings with over 5 % deviation	% of all fillings with over 5 % deviation	Total nr. of fillings	Average deviation in % per filling
JF	3 of 4	75 %	5	7,6 %
	5 of 5	100 %	8	8,1 %
	5 of 10	50 %	13	5,7 %
	2 of 4	50 %	5	8,2 %
Keenan	5 of 8	62 %	10	12,5 %
	0 of 4	0 %	4	1,4 %
Kuhn	4 of 9	44 %	13	5,6 %
	2 of 6	33 %	7	6,1 %
Redrock	1 of 4	25 %	6	3,9 %
	4 of 8	50 %	8	4,7 %
RMH	2 of 6	33 %	9	10,7 %
	3 of 8	37 %	8	3,7 %
	2 of 4	50 %	11	5,1 %
Seko	2 of 4	50 %	5	4,8 %
	2 of 7	28 %	13	13,3 %
Trioliet	2 of 8	25 %	12	4,1 %
	2 of 4	50 %	6	5,1 %
Average	2 of 3	67 %	4	5,2 %
		44,7 %	8,17	6,4 %

The average deviation in percent must be under 5.0 % to avoid influence on the feedingplan

### 3.3 Results for each THM-mixer brand

#### 3.3.1 JF

A typical example of control weighing of JF TMR-mixer is shown in Fig. 1.

The dispersion is very large. From minus 3.2 % to plus 14.7 %. Measurements below 200 kg are strongly influenced by the control weight's 20 kg jumps, which causes large percentage deviations in the lower weight area. The total weight shows a difference of 225 kg at 4,6 tons. This gives a percentage difference of 4.9 %, which is just below the respectable limit of 5 %.

### 3.2 Totalweight deviation

Tab. 2: The different TMR-mixers deviation in total weight  
*Abweichungen im Gesamtgewicht für die verschiedenen TMR-Mischer*

Brand	TMR-mixer total-weight (kg)	Controlweight totalweight (kg)	Deviation (kg)	Deviation in %
JF	7005	6660	345	5,9 %
	4855	4500	355	7,3 %
	5500	5320	180	3,3 %
	4615	4390	225	4,9 %
Keenan	2660	2700	40	1,5 %
	1925	1900	25	1,3 %
Kuhn	2865	2800	65	2,3 %
Kverneland	3420	3240	180	5,3 %
	4030	4200	170	4,0 %
Redrock	2440	2380	60	2,4 %
	4700	4640	60	1,3 %
RMH	2625	2560	65	2,5 %
	5700	5560	140	2,5 %
	2355	2260	95	4,0 %
Seko	4725	4700	25	0,6 %
	5300	5220	80	1,5 %
Trioliet	3735	3600	135	3,6 %
	5885	5780	105	1,8 %
Average	4130	4023	107	2,6 %

The average deviation in percent must be under 5.0 % to avoid influence on the feeding plan

In general, JF weighted too much compared to the control weight. The typical deviations were 5–8 % more. The deviation should not be more than 5 %. Some of the results showed deviations between 10–20 %. The dispersions were generally too high. A calibration of the weighing system would not solve the problems because of the high dispersion in both directions. A plus on JF TMR-mixers are the feed computer which helps the farmer to control the feeding plan.

#### 3.3.2 Keenan

A typical example of control weighing of Keenan TMR-mixer is shown in Fig. 2.

The dispersions were generally too high with large deviations minus 23 % to plus 25 % (on measurements over 200 kg). A calibration of the weighing system would not solve the problems because of the high dispersion. There is no pattern. The total weight ended at 2.4 tons. The difference were only 40 kg or 1.5 % difference. This must be a coincidence, with the large dispersions in mind.

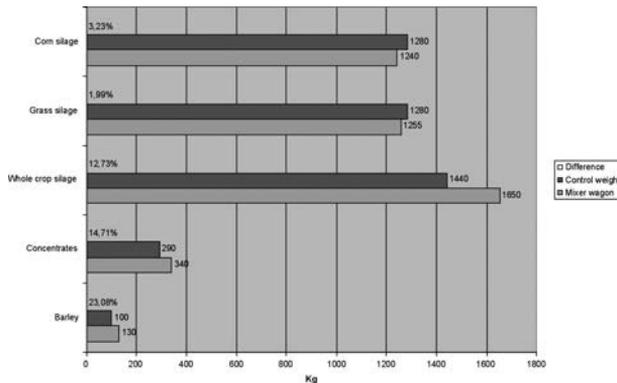


Fig. 1: Weighing results for JF 19 m<sup>3</sup> vertical-mixer  
*Wiegeergebnisse für JF 19 m<sup>3</sup> Vertikal-Mischer General conclusion on JF*

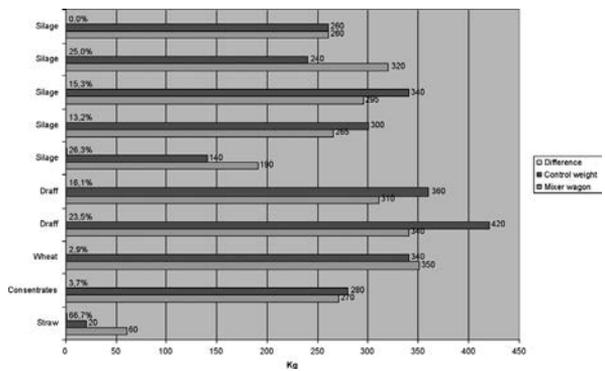


Fig. 2: Weighing results for Keenan 14 m<sup>3</sup> haspel-mixer  
*Wiegeergebnisse für Keenan 14 m<sup>3</sup> Haspel-Mischerer General conclusion on Keenan*

The results for Keenan show both positive and negative results. Deviations on 25 % are not acceptable. A calibration is necessary, but can be difficult because of the missing deviation pattern. Another tested Keenan TMR-mixer showed very good results with a maximum deviation of 3,4 % and a difference of only 25 kg or 1.3 % at the total weight of 2 tons.

### 3.3.3 Kuhn

The results were satisfactory. Most of the fillings were between 200–300 kg which affects the percentage deviation because of the control weight's 20 kg jump-intervals. With this in mind,

it must be concluded that the accuracy is fine. The total weight of 2.8 tons showed a difference of 65 kg or 2.3 %. So below the 5 % acceptable limit.

### **3.3.4 Kverneland**

In general the results were satisfactory. One TMR-mixer had one large deviation on 16 %, but in general the results were fine. The total weights were satisfied and all below or around the limited 5 %.

### **3.3.5 Redrock**

In general the results were fine. One of the TMR-mixers had some larger percentage deviations, but most of them caused small fillings below 200 kg and the control weight's 20 kg jumps. Another of the tested TMR-mixers had some deviations between 5–15 % in the weight area below 1000 kg. There were no patterns in the deviations. The total weights were satisfactory and all below 3 % deviation.

### **3.3.6 RMH**

In general the results were very satisfactory. Also here were a few deviations just over 5 %. Some of them caused fillings below 200 kg. Most of the tested TMR-mixers showed a tendency to weigh 2–3 % more than the control weight. This pattern can be solved with a calibration.

### **3.3.7 Seko**

The results were in general satisfactory. There was one deviation around 5–8 % on both of the tested TMR-mixers. The total weight was very fine on the tested TMR-mixers. None showed deviation over 2 %.

### **3.3.8 Trioliet**

The results were satisfactory. There was one large deviation over 10 % on one of the tested TMR-mixers. There were no patterns in the deviations. The total weights were all below the acceptable limit of 5 %.

All diagrams for the tested TMR-mixers can be found on [www.farmtest .dk](http://www.farmtest.dk)

The survey was performed in 2004.

## Marker-assisted fermentation of starter cultures for silage *Marker-gestützte Fermentation von Starterkulturen für die Silierung*

MICHAEL KLOCKE, CHRISTINE IDLER, KERSTIN MUNDT

Institut für Agrartechnik Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam

**Keywords:** *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus rhamnosus*, starter culture, silage, 16S rDNA, molecular marker

**Schlüsselwörter:** *Lactobacillus Plantarum*, *Lactobacillus Rhamnosus*, Starterkultur, Silage, 16S rDNA, Molekulare Marker

### Summary

*In agronomy, the ensiling of forage material is often supported by the application of starter cultures. Usually mixtures of selected strains of various lactic acid bacteria species are applied. The preferentially used species is Lactobacillus plantarum. Further enhancement of the silage quality can be obtained by addition of other Lactobacillus as well as Enterococcus or Pediococcus species.*

*A marker assay was developed for the species in the ensiling agent Bornim Liquid<sup>®</sup>, Lact. plantarum and Lact. rhamnosus, based on species-specific regions within the chromosomal DNA. Subsequently, the marker assay was used to establish a regime for co-fermentation of these strains in order to develop a cost-reduced alternative to conventional single-strain fermentations.*

### Zusammenfassung

*Die Silierung von pflanzlichen Futtermitteln wird in der Praxis häufig durch den Einsatz von Starterkulturen unterstützt. Als Starterkulturen werden üblicherweise Mischungen ausgewählter Stämme verschiedener Milchsäurebakterien benutzt. Breite Anwendungen finden dabei Stämme der Art Lactobacillus plantarum; die Silagequalität kann allerdings durch die Beimischung anderer Lactobacillus-Arten aber auch von Enterococcus- oder Pediococcus-Arten verbessert werden.*

*Exemplarisch für die in dem Siliermittel Bornim Liquid<sup>®</sup> enthaltenen Bakterienarten Lact. plantarum und Lact. rhamnosus wurde ein Markersystem basierend auf artspezifischen Bereichen der chromosomalen DNA entwickelt. Dieses Markersystem wurde genutzt, um ein Regime zur Co-Fermentation beider Stämme als kostengünstige Alternative zu der konventionellen Einzelfermentation zu etablieren.*

## 1 Introduction

Ensiling with the aid of fermentation bacteria is a common method for the conservation of forage in agronomy. The naturally occurring process of colonisation of plant biomass with bacteria can be strengthened by application of starter cultures [1]. Currently commercially-available ensiling inoculants are used. Nevertheless, the application of commercial freeze-dried cultures is still associated with some disadvantages such as higher costs and sometimes also insufficient ensiling compared with the use of freshly prepared starter cultures [2, 3]. Thus the production of ensiling starter cultures on-site at the agricultural companies would appear to be a promising and cost-reducing alternative [2, 4].

Well suited homofermentative bacteria for ensiling purposes are *Lactobacillus plantarum* and *Lact. rhamnosus* [5, 6, 7]. These bacteria are part of the commercial ensiling agent *Bornim Liquid*<sup>®</sup>, which was developed at the Institute of Agricultural Engineering, Bornim (ATB). In this ensiling agent two selected strains, *Lact. plantarum* ATB 8 and *Lact. rhamnosus* ATB 14, are included in approximately equal cell densities providing a synergistic effect which is greater than that provided by the application of single strains [7].

Current production methods for the manufacture of such ensiling agents involve single fermentations of each strain, which are subsequently combined in defined volumes. Hence, the co-fermentation of two or more strains within one fermentation process could offer a more economic alternative. In order to establish a regime for co-fermentation, an effective tool for strain detection and control is required [4].

## 2 Methods

Conventional microbial approaches are not sufficiently accurate to distinguish *Lact. plantarum* and *Lact. rhamnosus* due to the lack of polymorphic phenotypical traits [8]. Furthermore, the necessary cultivation of the strains is time consuming. Thus, classical approaches are not suited for a fast and contemporary control of fermentations.

As an alternative, the PCR-based detection of single, species specific DNA sequences within the genes encoding the 16S ribosomal unit (16S rDNA) provides a clear differentiation even of closely-related bacteria [9, 10].

Species-specific primer pairs for amplifying DNA fragments of different, clearly distinguishable lengths were chosen (Fig. 1). The forward primer F2<sub>pla</sub> detects a variable region present only in *Lact. plantarum* [10], and detection of *Lact. rhamnosus* was achieved by using a variable region approx. 360 bp downstream [11]. As a universal reverse primer, the primer R1<sub>univ</sub> was applied (modified after [9]). The PCR protocol and analysis of PCR products was carried out as previously described [11].

To determine the exclusive specificity of the developed primer pairs, several PCRs were carried out using genomic DNA of defined amounts as well as hot water extracts of colonies as a DNA template. Subsequently, the multiplex PCR assay was applied to control the batch co-fermentation of the two silage bacteria at laboratory scale.

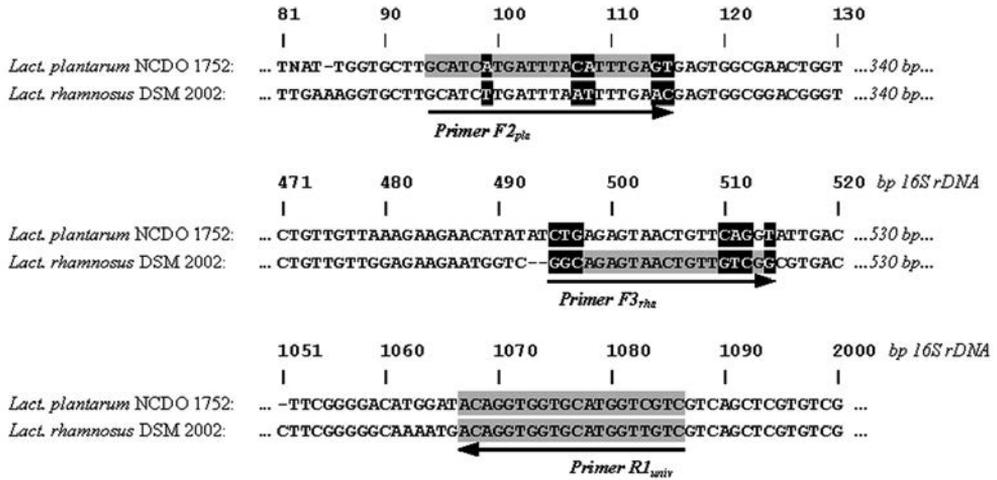


Fig. 1: Design of PCR forward primers specific for *Lact. plantarum* (F2<sub>pla</sub>) and *Lact. rhamnosus* (F3<sub>rha</sub>) targeting species specific sequences of 16S rDNA. As a reverse primer, a universal primer (R1<sub>univ</sub>) for bacterial 16S rDNA was used (modified after [9]). For alignment, only 16S rDNA consensus sequences for the type strains were used obtained through the Ribosomal Database Project II. Primer targets were underlaid in gray, species specific nucleotides within the primer targets were underlaid in black

### 3 Results

As expected, the primers F2<sub>pla</sub> and R1<sub>univ</sub> amplified a unique PCR product with a length of approx. 975 bp if applied to hot water extracts from colonies of *Lact. plantarum* ATB 8 (Fig. 2). The primers F3<sub>rha</sub> and R1<sub>univ</sub> produced a clear distinguishable smaller but also unique PCR amplicon of ca. 587 bp length using hot water extracts from *Lact. rhamnosus* ATB 14 colonies. Applied in a multiplex PCR on mixed templates with roughly equal amounts of genomic DNA of both species, both amplicons appeared with approximately the same intensity. Within the multiplex PCR, no non-specific cross products were amplified.

The multiplex PCR assay was applied to the monitoring of different co-fermentations in order to establish an appropriate regime for co-cultivation of both strains (Tab. 1). It was shown, that inoculation with both strains in comparatively low cell densities (i. e. OD<sub>600</sub> ca. 0.5) resulted in domination by the faster growing *Lact. plantarum* (Fig. 3). In contrast, inoculation with the slower growing *Lact. rhamnosus* prior to *Lact. plantarum* ( $\Delta T = 24$  h) resulted in the suppression of *Lact. plantarum*. The enrichment of equal densities of both strains was only obtained, when higher amounts of cells were used for inoculation (i. e. 5 ml pre-culture with an OD<sub>600</sub> of 1.5 for inoculation of 100 ml culture).

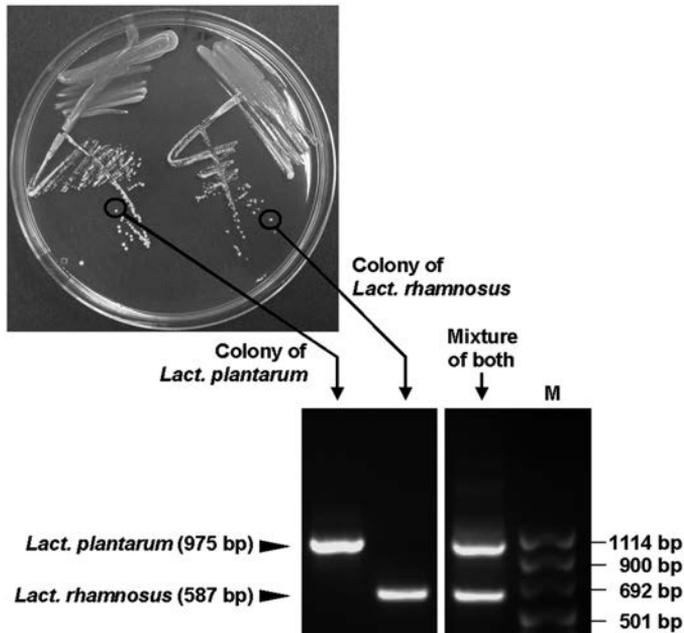


Fig. 2: Colony-direct multiplex PCR with primer F2<sub>plar</sub>/F3<sub>rha</sub> and R2<sub>univ</sub> using hot water extracts from a single colony of *Lact. plantarum* ATB 8, *Lact. rhamnosus* ATB 14 and a mixture of both. M marks a DNA length standard

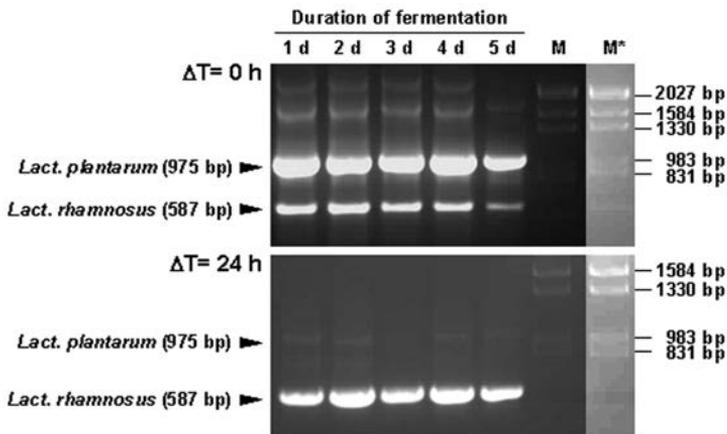


Fig. 3: Application of the multiplex PCR in order to establish a regime for co-fermentation of *Lact. plantarum* ATB 8 and *Lact. rhamnosus* ATB 14. The co-fermentation was started with 5 ml of each strain using overnight cultures ( $OD_{600} = 0.46$ ). The co-fermentation was inoculated with equal concentrations of both strains at the same time ( $\Delta T = 0$  h) resp. with *Lact. rhamnosus* first and, with one day delay, with an equal concentration of *Lact. plantarum* ( $\Delta T = 24$  h). As PCR template a 1:10 dilution of genomic DNA (conc.  $100 \text{ ng } \mu\text{l}^{-1}$ ) was used. M resp. M\* marks a length standard

Tab. 1: Optimization of the co-fermentation of *Lact. plantarum* ATB 8 and *Lact. rhamnosus* ATB 14

Parameter	Variation	Effect
Delayed inoculation	<i>Lact. plantarum</i> first ( $\Delta T = 1-5$ d)	Domination of <i>Lact. plantarum</i>
	<i>Lact. rhamnosus</i> first ( $\Delta T = 1-5$ d)	Domination of <i>Lact. rhamnosus</i>
Optical density (OD <sub>600</sub> ) of the pre-culture	OD <sub>600</sub> = ca. 0,5	Domination of <i>Lact. plantarum</i>
	OD <sub>600</sub> = ca. 1,5	Equal populations of both strains

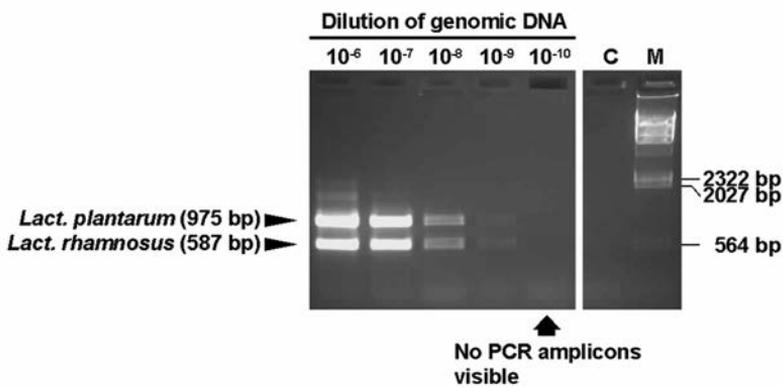


Fig. 4: PCR assay of a 10 fold dilution series of an extract of total genomic DNA prepared out of a laboratory scale co-fermentation of *Lact. plantarum* ATB 8 and *Lact. rhamnosus* ATB 14 (2 l batch fermentation). C marks a negative control using H<sub>2</sub>O instead of a DNA template, M marks a length standard

Applied to a laboratory-scale batch co-fermentation (vol. 2 l) of both strains, the estimated conditions provided the development of equal cell densities of both strains. A PCR assay applied to a dilution series of the DNA probe showed approximately equivalent high amounts of DNA of both species, *Lact. plantarum* and *Lact. rhamnosus*, within the fermentor (Fig. 4).

## 4 Discussion

In this study, a PCR-based assay was evaluated for the monitoring of ensiling bacteria *Lact. plantarum* and *Lact. rhamnosus*, which were substantial components of the ensiling agent *Bornim Liquid*<sup>®</sup>. In contrast to previously published assays [9], this assay provides the parallel detection of both species within one single reaction. Furthermore, this assay enables a fast detection time within 3–5 h and, thus, a contemporary control of fermentations [12]. As well as routine strain control, this assay provides a powerful tool for the establishment of strategies for co-cultivation of both bacteria.

For the ensiling agent *Bornim Liquid*<sup>®</sup>, it was shown that in principle, such a co-fermentation strategy is applicable. Compared with the currently applied single-fermentation strategy,

this co-fermentation could provide a cost-reduced and lower work-rate alternative. Hence, the co-fermentation would strengthen approaches for on-farm production of starter-cultures [2, 4]. In this context, further investigations are underway at the ATB in cooperation with the Agrargenossenschaft Niederschöna.

## 5 References

- [1] WEINBERG, Z. G.; MUCK, R. E. (1996): New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews* 19, 53–68.
- [2] IDLER, C.; RICHTER, K.; PARZTSCH, R.; NEUBERT, G.; HEBER, F. (2002): Homemade starter cultures for silage. *Landtechnik* 57, 261–263.
- [3] MERRY, R. J.; DHANOA, M. S.; THEODOROU, M. K. (1995): Use of freshly cultured lactic acid bacteria as silage inoculants. *Grass and Forage Science* 50, 112–123.
- [4] IDLER, C.; KLOCKE, M. (unpubl.): Improved strategies for on-farm production of starter cultures for silage. Proceedings of the 4th Agricultural Engineering Conference of Central and East European Countries, Moscow, Russia. [submitted].
- [5] WEINBERG, Z. G.; MUCK, R. E. (1996): New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews* 19, 53–68.
- [6] WHITER, A. G.; KUNG, L. (2001): The effect of a dry or liquid application of *Lactobacillus plantarum* MTD1 on the fermentation of alfalfa silage. *Journal of Dairy Science* 84, 2195–2202.
- [7] IDLER, C.; RICHTER, K.; IDLER, F. (1998): The use of lactic acid bacteria as starter cultures for the conservation of green forages. Proceedings of the International Conference 'Field Technologies & Environment', 24.-25.09.98, Raudondvaris, Lithuania, 121–126.
- [8] DOI, K.; ZHANG, Y.; NISHIZAKI, Y.; UMEDA, A.; OHMOMO, S.; OGATA, S. (2003): A comparative study and phage typing of silage-making *Lactobacillus* bacteriophages. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 95, 518–525.
- [9] CHAGNAUD, P.; MACHINIS, K.; COUTTE, L. A.; MARECAT, A.; MERCENIER, A. (2001): Rapid PCR-based procedure to identify lactic acid bacteria, application to six common *Lactobacillus* species. *Journal of Microbiological Methods* 44, 139–148.
- [10] COLLINS, M. D.; RODRIGUES, U.; ASH, C.; AGUIRRE, M.; FARROW, J. A. E.; MARTINEZ-MURCIA, A.; PHILLIPS B. A.; WILLIAMS, A. M.; WALLBANKS, S. (1991): Phylogenetic analysis of the genus *Lactobacillus* and related lactic acid bacteria as determined by reverse transcriptase sequencing of 16S rRNA. *FEMS Microbiology Letters* 77, 5–12.
- [11] KLOCKE, M.; MUNDT, K. (2004): Development of a 16S rDNA targeted PCR assay for monitoring of *Lactobacillus plantarum* and *Lact. rhamnosus* during co-cultivation for production of inoculants for silages. *Letters in Applied Microbiology* 39, 267–273.
- [12] KLOCKE, M.; KNAPIK, A.; MUNDT, K. (unpubl.): New approaches for detection and identification of ensiling bacteria. *Agrartechnische Forschung*. [submitted].

## **Totalmischration (TMR) versus Grundmischration und individueller Kraftfutterzuteilung bei hohem Grundfutteranteil für Milchkühe** ***Total mixed ration (TMR) versus basic mixed ration and individual concentrate allocation with a high proportion of basic feed for dairy cows***

FRANZ NYDEGGER, MATTHIAS SCHICK

Agroscope FAT Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

**Schlüsselwörter:** Totalmischration, Milchkühe, Futtermittelverzehr, Milchleistung, Arbeitswirtschaft  
**Keywords:** *Total mixed ration, dairy cows, feed consumption, milk yield, work economic*

### **Zusammenfassung**

*In einem zweijährigen Versuch klärte die FAT den Einfluss einer Totalmischration (TMR) auf die Leistung, die Futteraufnahme und die körperliche Verfassung von Milchkühen gegenüber konventioneller Futtervorlage ab. Über beide Versuchsjahre gemittelt ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Verfahren mit konventioneller Vorlage einer Grundmischration und individueller Ergänzungsfütterung an der Kraftfutterstation und der TMR in Bezug auf den Verzehr an Grundration. Dagegen wies die TMR-Gruppe bei einem tieferen Kraftfutterverzehr eine rund 1,3 % niedrigere Milchleistung auf. Der Verlauf der Milchleistung und der Körperkondition, über die Laktationsabschnitte war unterschiedlich. Ob die Fütterung des Milchviehbestandes mit TMR oder über Futtermischwagen und Kraftfutterstation erfolgt, ist unter vergleichbaren Bedingungen aus der Sicht der Arbeitswirtschaft von geringer Bedeutung.*

### **Summary**

*Within the scope of a two-year experiment, Agroscope FAT Tänikon investigated the effects of the total mixed ration (TMR) on milk yield, feed intake and physical condition of the dairy cows compared to conventional feed distribution. In terms of basic ration consumption, no significant differences occurred on average over the two years between the TMR and the system involving conventional distribution of basic mixed ration and individual supplementary rations at the automatic concentrate distributor. On the other hand, the TMR group produced an approx. 1.3 % lower milk yield with a lower concentrate consumption. The pattern of milk yield and physical condition varied through the stages of lactation. From a labour point of view, it makes little difference whether the dairy herd is fed with TMR or using a feed mixer wagon and automatic concentrate distributor, all other conditions being comparable.*

## 1 Problemstellung

In Gebieten mit einem hohen Anteil an nicht oder nur bedingt ackerfähigen Flächen hat die Verwertung von Gras in der Milchviehhaltung einen hohen Stellenwert. Das Know-how zur Produktion von gutem bis sehr gutem Grundfutter auf der Basis von Grünland ist vorhanden. Häufig weisen diese Gebiete Herden von 20 bis 60 Milchkühen mit einem Leistungsniveau zwischen 6000 und 8000 kg/Laktation auf. Es stellt sich die Frage, ob sich unter der Voraussetzungen eines hohen Anteils von hochwertigem Raufutter in der Ration eine Totalmischration (TMR) als sinnvoll erweist und ob sich dies auch ohne Gruppenunterteilung durchführen lässt. Die Auswirkungen der TMR auf den Futterverzehr, die Milchleistung, Körperkondition der Kühe sowie den Arbeitszeitbedarf sollen aufgezeigt werden. Der Versuch mit einer Herde mit durchschnittlichem Leistungsniveau, ohne Leistungsgruppen, aber mit einer Ration mit hohem Grundfutteranteil soll die in Bezug auf das Leistungsniveau untere Einsatzgrenze ausloten.

## 2 Versuchsanordnung

Die Auswirkungen der TMR wurde mit Hilfe eines Verfahrensvergleichs an zwei Kuhgruppen mit je 17 Tieren über zwei Jahre untersucht. Das Leistungsniveau betrug bei Kühen in der zweiten und folgenden Laktation 7300 kg/Jahr und 6600 kg Jahr bei den Erstlaktierenden. Für die Versuchsgruppe war die TMR ab Anfütterung bis zum Trockenstellen auf ein Milchproduktionspotenzial von zirka 25 kg pro Kuh und Tag ausgelegt. Die Referenzgruppe erhielt ab Anfütterung bis zum Trockenstellen eine Mischration, ausgelegt auf zirka 19 kg Milch, tierindividuell ergänzt mit Ergänzungsfutter an der Kraftfutter-Station. Die Grundration bestand für beide Gruppen aus den Komponenten Belüftungsheu, Mais-, Gras- und Zuckerrübenschnittzelsilage. Der durchschnittliche Energiegehalt lag um 6,2 MJ NEL bei der Referenz- und bei 6,3 MJ NEL bei der TMR-Gruppe.

## 3 Milchleistung

Ein Vergleich der energiekorrigierten Milchleistung (kg ECM) zeigte 2002 im Durchschnitt des ganzen Jahres nur sehr geringe Unterschiede. 2003 erbrachten die Kühe der Referenzgruppe eine höhere Startleistung und fielen gegen Ende der Laktation weniger stark ab als 2002 (Abb. 1). Die durchschnittliche Leistung der Kühe ab der zweiten Laktation lag für die Referenzgruppe 2002 bei 24,7 kg und 2003 bei 25,7 kg ECM und für die TMR-Gruppe 2002 bei 24,5 kg und 2003 bei 25,0 kg ECM. Die 1. Laktierenden der Referenzgruppe erzielten 19,5 bzw. 23,2 kg und in der TMR-Gruppe 20,3 kg bzw. 19,7 kg ECM/KT.

Anhand der durchschnittlichen Milchleistungen nach Laktationsabschnitten zeigt sich, dass die TMR-Gruppe sowohl bei den 1. Laktierenden als auch ab der 2. Laktation eine bessere Persistenz aufweist als die Referenzgruppe. Im zweiten Versuchsjahr erbrachten die Referenzkühe vor allem aufgrund der höheren Einsatzleistung eine um 3 % höhere Milchleistung. Im Mittel beider Jahre betrug die Mehrleistung der Referenzgruppe 1,3 %.

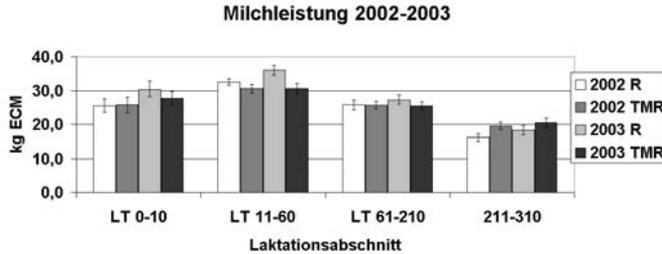


Abb. 1: Laktationsverlauf 2002 und 2003

Durchschnittliche Milchleistung in kg ECM/Tag und Standardfehler nach Laktationsabschnitt (LT = Laktationstage) für die Kühe der Referenzgruppe (R) und der TMR-Gruppe (TMR).

*Lactation in 2002 and 2003*

*Average milk yield in kg ECM/day and standard error according to stage of lactation (LT = lactation days) for cows in the reference group (R) and the TMR group (TMR)*

## 4 Verzehr Grundration

Die Referenzgruppe verzehrte in den Monaten Januar bis März im Durchschnitt 14,2 kg/Kuh und Tag (KT) der Grundration im Jahr 2002 und 14,9 kg/Kuh und Tag im Jahre 2003 (Abb. 2). Die TMR-Gruppe verzehrte in den Monaten Januar bis März im Durchschnitt im Jahr 2002 14,9 kg TS/KT, im Jahr 2003 14,8 kg TS/KT Grundration.

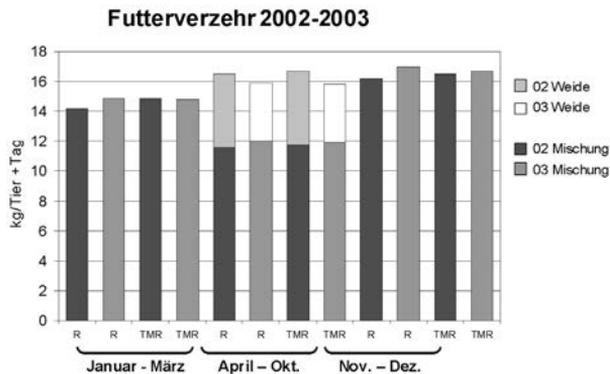


Abb. 2: Durchschnittlicher Verzehr der Grundration (ohne Ergänzungsfutter) in kg TS pro Kuh und Tag für die Referenz (R) und die TMR-Gruppe in der Winter- (Januar bis März und November bis Dezember) und Sommerfütterung (April – Oktober)

*Average consumption of basic ration (without supplementary feeding) in kg DM per cow per day for the reference group (R) and the TMR group in winter (January to March and November to December) and summer feeding (April – October)*

Während der Weideperiode von April bis Oktober setzte sich der Verzehr aus der im Stall vorgelegten Mischung und dem auf der Weide gefressenen Gras zusammen.

Im Sommer 2002 lag der mit Hilfe von Weidefenstern erhobene Verzehr von Gras mit 4,9 kg TS/KT über der Vorgabe von 4 kg bei der Rationenberechnung. Der Sommer 2003 mit

einer langen Wärmeperiode dämpfte den Grasaufwuchs. Der Verzehr auf der Weide sank dadurch auf rund 3,9 kg TS/KT.

Die TMR-Gruppe verzehrte im ersten Jahr im Durchschnitt zwischen 0,3 und 0,6 kg TS/KT mehr von der Grundration als die Referenzgruppe. Im zweiten Jahr bestätigte sich allerdings dieser Unterschied nicht, da die TMR-Gruppe zwischen 0,1 und 0,3 kg TS/KT weniger aufnahm. Im Durchschnitt beider Winterfütterungsperioden verzehrten die Referenzkühe 15,2 kg TS/KT und die TMR-Kühe 15,4 kg TS/KT.

## 5 Verzehr Ergänzungsfutter

Die zugeteilten Ergänzungsfuttermengen lagen bei der Referenzgruppe mit 786 kg/Kuh im Jahr 2002 und 922 kg/Kuh im Jahr 2003 höher als bei der TMR-Gruppe mit rund 654 kg/Kuh im Jahr 2002 und 695 kg/Kuh im Jahr 2003. Der Einsatz an Kraftfutter je kg ECM betrug bei der Referenzgruppe 2002 0,12 kg und 2003 0,13 kg, bei der TMR-Gruppe in beiden Jahren 0,10 kg.

## 6 Körperkondition

Alle drei Wochen wurde die Körperkondition mit dem Body Condition Score (BCS) beurteilt. Bei den Tieren in der 1. Laktation verliefen die BCS-Werte im ersten Versuchsjahr bis Ende Laktation bei beiden Gruppen parallel. Bei den Kühen ab der 2. Laktation ist in der TMR-Gruppe ein grösserer Abfall und Wiederanstieg des BCS-Wertes festzustellen. 2002 beträgt der Anstieg der BCS-Werte von Anfang gegen Ende der Laktation 0,3 Punkte. Die BCS-Werte nach dem Abkalben zeigen, dass die Referenzgruppe 2002 mit einem Index von 3,4 um 0,1 BCS-Punkte höher liegt als vor dem Trockenstellen, die TMR-Gruppe mit einem Wert von 3,5 um 0,1 Punkte tiefer. Im Folgejahr liegen vor dem Kalben beide Gruppen gleichauf, nach der Kalbung sind die BCS-Werte der TMR-Gruppe leicht höher.

## 7 Arbeitswirtschaftliche Beurteilung

Zur arbeitswirtschaftlichen Beurteilung des Fütterungsverfahrens „Totalmischration“ wurden zunächst Zeitmessungen und Einflussgrössenerhebungen auf dem Versuchsbetrieb der FAT durchgeführt und anschliessend durch Zeitmessungen auf verschiedenen Praxisbetrieben überprüft. Als Vergleichsvariante wurde eine weit verbreitete Fütterungsvariante mit Futtermischwagen und Kraftfutterstation ausgewählt. Zusätzlich wurden beide Varianten um eine weidebasierte Sommerfütterungsvariante mit zirka 5 kg Weidegras ergänzt. Die Berechnungen zu den Varianten wurden unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt. In Abbildung 3 wird erkennbar, dass die Unterschiede im Tagesarbeitszeitbedarf für die untersuchten Fütterungsvarianten minimal sind. Der Arbeitszeitbedarf liegt in Abhängigkeit von der Bestandesgrösse bei beiden Varianten zwischen 1,6  $AK_{\min}$  je Tier und Tag (50 Kühe) und 2,2  $AK_{\min}$  je Tier und Tag (30 Kühe) für die Wintersituation. Im Sommer ist der Zeitbedarf bedingt durch den täglichen Weidegang leicht höher und beträgt bei Hof-Weideentfernungen von durchschnittlich 150 m 2,2  $AK_{\min}$  (50 Kühe)–3,3  $AK_{\min}$  (30 Kühe) je Tier und Tag. Somit

sind realistische tägliche Arbeitszeiten zwischen 1 und 1,3 AKh für die Winterfütterung und 1,6–1,8 AKh für die Sommerfütterung zu veranschlagen. Der Zeitbedarf für die Sommerfütterung kann allenfalls noch durch kürzere Weidewege verringert werden. Der Arbeitszeitbedarf für Weidepflege und -düngung ist in den Berechnungen nicht enthalten. Abbildung 4 lässt erkennen, dass die beiden Versuchsvarianten keinerlei signifikante Unterschiede im Gesamtzeitbedarf aufweisen. Allenfalls bei Verzicht auf den Weidegang ist eine deutliche Reduktion im Zeitbedarf erkennbar. Deutliche Einsparungsmöglichkeiten ergeben sich durch eine Bestandesvergrößerung von 30 auf 50 Milchkühe. Dadurch lässt sich der Zeitbedarf um zirka 20 % reduzieren. Der Verzicht auf Weide und der Umstieg auf die ganzjährige Stallfütterung mit TMR bringen hier lediglich noch 10 % an Einsparungspotenzial. Deshalb erscheint es sinnvoll, auch bei grösseren Beständen im Sommer Weidegang anzubieten. Dabei sollten allerdings die betrieblichen Gegebenheiten (Entfernung zur Weide, Wasserversorgung, Leistungsniveau der Herde, Niederschlagsituation, usw.) immer berücksichtigt werden.

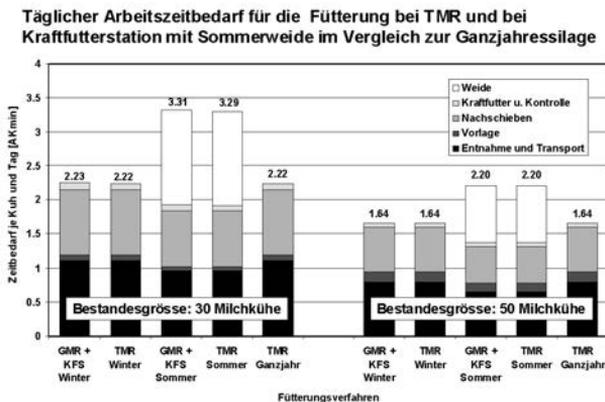


Abb. 3: Der tägliche Arbeitszeitbedarf für die Fütterungsarbeiten mit Futtermischwagen zeigt die Bedeutung der wesentlichen Einflussgrössen (zum Beispiel Bestandesgrösse und Weidegang) auf. Ausserdem werden die Anteile der einzelnen Arbeiten erkennbar (GMR + KFS = Grundmischration und Kraftfutter an der KF-Station)

*The daily working time requirement for feeding with a feed mixer wagon shows the significance of the main parameters (such as herd size and grazing). The proportions of the different operations are also shown (BMR + ACD = basic mixed ration and concentrate at the distributor)*

## 8 Schlussfolgerungen

Der vorliegende Bericht zeigt auf, dass auch mit einer Herde mit einem durchschnittlichen Leistungsniveau ohne Leistungsgruppen, aber mit einer Ration mit hohem Grundfutteranteil die Vorlage einer TMR möglich ist. Die TMR muss bewusst vorsichtig auf ein relativ tiefes Niveau ausgelegt werden, um einer Verfettung nicht zum vornherein Vorschub zu leisten.

Die höheren BCS-Werte gegen Ende der Laktation bei der TMR-Gruppe im ersten Jahr zeigen, dass selbst unter diesen Bedingungen eine Verfettung nicht ganz ausgeschlossen werden kann.

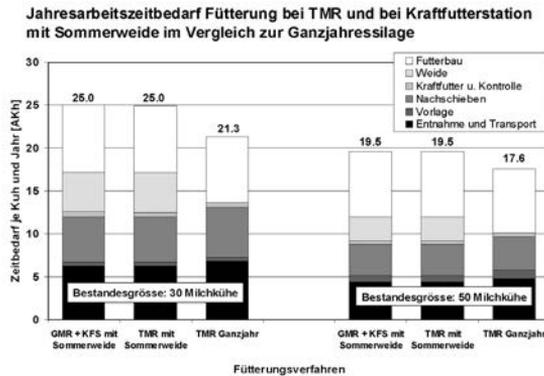


Abb. 4: Der Jahresarbeitszeitbedarf, inklusive Aussenwirtschaft, für die Fütterung von Milchkühen mit Futtermischwagensystemen zeigt mögliches Einsparungspotenzial auf *The annual working time requirement, including field work, for feeding dairy cows using feed mixer wagon systems shows some potential for savings*

Trotz der eher restriktiven Fütterung (Ergänzungsfutter) konnte die TMR-Gruppe im ersten Versuchsjahr dieselbe Milchleistung wie die Referenzgruppe erbringen. Dank der leicht besseren Persistenz konnten die etwas tieferen Leistungen bei Laktationsbeginn gegen Ende der Laktation ausgeglichen werden. Das zweite Versuchsjahr zeigte aber, dass einzelne Kühe mit gutem Leistungspotenzial in der Referenzgruppe, das heisst im herkömmlichen Verfahren mit individuellen Kraftfuttergaben eine Leistungssteigerung bewirkten, mit der die TMR-Gruppe nicht ganz mithalten konnte.

Ob die Fütterung des Milchviehbestandes mit TMR oder über Futtermischwagen und Kraftfutterstation erfolgt, ist unter vergleichbaren Bedingungen aus der Sicht der Arbeitswirtschaft von geringer Bedeutung. Die wesentlichen Einflussgrößen auf den Zeitbedarf sind die Bestandesgröße, die Anzahl der Futterkomponenten, die Art der Futterlagerung und der Mechanisierungsgrad der eingesetzten Verfahren.

Im Vergleich zu anderen Fütterungsverfahren mit hohen Anteilen an Handarbeit stellt die Fütterung mit Futtermischwagen bei den untersuchten Bestandesgrößen sowohl ein arbeitssparendes als auch ein arbeitserleichterndes Verfahren dar.

## 9 Literatur

- ENGELHARD, T. et. al. (1999): Vergleich der TMR-Fütterung mit und ohne Futtergruppenbildung im Laktationsverlauf. LVA Iden, Experimental report B 52 034.
- LVVG AULENDORF (1996): TMR-Fütterung mit 3 Leistungsgruppen beim Fleckvieh. Experimental report 6/1996.
- LVVG AULENDORF (1996): TMR-Fütterung mit Fleckviehkühen mit 2 Leistungsgruppen. Experimental report 7/1996.
- NYDEGGER, F., SCHICK, M., RUTISHAUSER, R. (2003): FAT-Berichte 599 TMR, eine Ration für alle Milchkühe. Auswirkungen auf den Arbeitszeitbedarf, den Futterverzehr, die Milchleistung und das Tier.
- SCHEIDEMANN C. (2001): Vergleichende Untersuchung zur Fütterung von Totalen Mischrationen (TMR) bei Milchkühen. Diss. UNI Hohenheim B 55065.

# Viskositätssenkung bei Flüssigfutter durch den Futterenzymkomplex Rovabio™ Excel

## *Viscosity Reduction of Liquid Feed by Addition of the Enzyme Composition Rovabio™ Excel*

MENO TÜRK<sup>1</sup>, STEFAN JACOB<sup>2</sup>, THOMAS ZENKE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Agrartechnik Bornim e. V. ATB, Max-Eyth-Allee 100, D-14471 Potsdam

<sup>2</sup> Adisseo France SAS; Avenue Aristide Briand, F-92160 Antony

**Schlüsselwörter:** Viskosität, Flüssigfutter, Enzyme, Rühren, Fließverhalten

**Keywords:** *Viscosity, liquid feed, enzyme, mixing, flow behaviour*

### **Zusammenfassung**

Die Wirkung des Enzymkomplexes Rovabio™ Excel auf das Rühr- und Fließverhalten von Flüssigfutter wurde mit Hilfe eines speziellen Rotationsviskosimeters untersucht. Dabei wurde an der selben Probe mit einem Ankerrührer eine Rührkurve und mit einem Messzylinder anschließend die Fließkurve aufgenommen. Die Enzymwirkung ist abhängig von der Getreideart, der Rührzeit, der Scherbelastung, dem pH-Wert und der Temperatur. Diese Einflussgrößen wurden untersucht und die optimalen Wirkungsbedingungen ermittelt.

Der Einfluss des pH-Wertes auf die Enzymwirkung ist erheblich. Der größte Effekt wurde bei Weizen- und Gerstenfutter bei  $\text{pH} < 5,4$  ermittelt. Die Enzymwirkung ist bei Flüssigfutter auf Gerstenbasis deutlich stärker als bei Weizenfutter. Die Viskosität kann max. um 30 ... 40 % vermindert werden. Das Futter-Wasser-Verhältnis spielt dabei kaum eine Rolle. Die Enzymwirkung wird von der Rührzeit und der Scherbelastung beeinflusst.

### **Summary**

The effects of Rovabio™ Excel, a single multi-enzyme preparation on mixing and flow behaviour of liquid feed are measured with a special rotary viscometer. The viscometer was operated alternately with a horseshoe agitator and an internal rotating cylinder. Once the mixing curve has been recorded, a flow curve is measured on the same sample. The action of the enzyme is dependent of cereal type, mixing time, shear rate, pH value and temperature. These parameters were tested and the optimal conditions of the enzyme effects were determined. The influence of pH-value on the enzyme efficiency is very distinct. The best effect was obtained with wheat and barley water suspensions at pH-values of  $< 5.4$ . The enzyme effect on barley suspensions is more pronounced as compared to wheat water suspensions. Viscosity was reduced nearly 30 ... 40 %. The enzyme effect is less dependent from the feed water ration but dependent from the shear rate and the mixing time.

## 1 Problemstellung

Die Flüssigfütterung ist in der Schweinemast weit verbreitet. Moderne Anlagen arbeiten voll-automatisch und werden über Prozessrechner gesteuert. Trockene, feuchte und flüssige Futterkomponenten können nach Programm im Wiegemischer vermischt und mit Kreisel- oder Drehkolbenpumpen durch Rohrleitungen in den Stall gefördert werden. In Abhängigkeit vom Wachstum der Schweine, vom Stallklima, von den Inhaltsstoffen der Komponenten, von der Gruppengröße u. a. Faktoren kann die Futterzusammensetzung und die Futtermenge stets neu berechnet und variiert werden.

Das Flüssigfutter besteht in der Regel aus verschiedenen Getreide-, Ölschroten, Zusatzstoffen und Wasser. Zuweilen kommen auch weitere Futterkomponenten hinzu. Diese Flüssigfutmischungen haben eine dünnflüssige bis dickbreiige Konsistenz und werden rheologisch als nicht-Newtonsche Suspensionen mit pseudoplastischem oder nicht-linear plastischem Fließverhalten klassifiziert. Sie sind grob strukturiert, neigen zur Sedimentation und können im Extremfall auch thixotrope Eigenschaften aufweisen [TÜRK, 1993]. Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) in Getreide und Ölschroten sind maßgeblich für die Viskosität von Flüssigfutter verantwortlich.

Um die Pumpfähigkeit zu sichern, sollte ein bestimmter Wasseranteil nicht unterschritten werden. Bei Getreideschrot gilt in der Regel ein Trockenfutter-Wasser-Verhältnis von 1:2,0 bis 1:2,5, im Extremfall bis 1:3,0. Ein höherer Wasseranteil verbessert zwar das Fließ- und Förderverhalten, steigert jedoch die Sedimentationsneigung, verringert die Nährstoffkonzentration des Futters und führt zu höherem Gülleanfall. Ein zu geringer Wasseranteil ( $TS > 35\%$ ) kann zu Problemen beim Pumpen und beim gleichmäßigen Verteilen im Trog führen.

Adisseo France SAS [2003] stellt die NSP-spaltende Enzymkombination Rovabio™ Excel her, deren 18 verschiedene Enzymaktivitäten (Xylanasen,  $\beta$ -Glukanasen, Pektinasen, Proteasen und andere) von dem natürlich vorkommenden und genetisch unveränderten Mikroorganismus *Penicillium funiculosum* gebildet werden. Damit wird die Viskosität von Flüssigfutter beträchtlich gesenkt und es wird dem Schweinehalter ermöglicht die Pumpfähigkeit auch bei verringertem Wasseranteil zu gewährleisten. So ergeben sich folgende Vorteile:

- Verbesserung der Fließfähigkeit, also Senkung der Viskosität von Flüssigfutter,
- geringerer Wasserbedarf zur Futteranmischung,
- höhere Nährstoffkonzentration des Futters,
- bessere Futtermittelnutzung bei der Schweine- und Geflügelhaltung,
- geringerer Energiebedarf beim Anmischen und Pumpen,
- verminderte Verstopfungsneigung von Pumpen und Rohrleitungen,
- geringerer Gülleanfall und damit verminderte Kosten für Lagerung und Ausbringung,
- stabile Tiergesundheit durch bessere Darmtätigkeit,
- verbesserte Leistung der Tiere.

Durch systematische rheologische Untersuchungen werden die Wirkungen auf verschiedene Getreidefuttermittel hinsichtlich optimaler Anwendungsbedingungen untersucht.

## 2 Material und Methode

Die Untersuchungen erfolgten mit Hilfe eines für grobdisperse Suspensionen geeigneten speziellen Rotationsviskosimeters, einer Labor-Rührereinrichtung und eines Rohrviskosimeters im

ATB. Dabei wurden Rührkurven mit einem Ankerrührer und anschließend *Fließkurven* mit Hilfe eines Zylindermesskörpers aufgenommen. Durch systematische Veränderung von Futterzusammensetzung, pH-Wert, Temperatur, TS-Gehalt und Belastungszeit wurden die wichtigsten Einflussgrößen untersucht und die optimalen Wirkungsbedingungen ermittelt. Diese Methodik wurde mehrfach erprobt und hat sich bewährt [TÜRK, HEINZL, KIESLING, 2001].

Die stets gleich großen Futterproben wurden bei konstanter Drehzahl über die Rührzeit von 90 min gemischt und alle Messpunkte einer Rührkurven von Futter mit Enzym zur Nullprobe (Futter ohne Enzymzusatz) ins Verhältnis gesetzt. So erhält man die Kurve der *relativen Drehmomente*  $M_E(t) / M_O(t) * 100$  in % als Kennzeichen der Zeitabhängigkeit der Enzymwirkungen.

Nach Beendigung des Rührversuchs ist eine zeitlich stabile Suspension vorhanden. Der Ankerrührer wird durch einen Messzylinder mit etwa gleichem Außendurchmesser ersetzt und mit derselben Probe wird eine Fließkurve gemessen. Auf diese Weise konnten Manipulationen der untersuchten Proben durch Umfüllen, Temperaturänderungen u. a. vermieden werden. Die Zylindermesskörper haben einen Messspalt von 8 mm, um bei grobdispersen Suspensionen Verstopfungen zu vermeiden. Wichtige Grundregeln der Viskosimetrie sind die Sicherung einer laminaren Schichtenströmung, der Wandhaftung und der Homogenität des Flüssigfutters. Wandgleiteneffekte müssen unbedingt vermieden werden. Daher sind die scherenden Zylinderflächen von Messzylinder und Messbecher als Sägezahnprofil gestaltet. Die Drehzahl, also damit auch der Schergradient  $D$  in  $s^{-1}$ , wird schrittweise verändert. Alle Messwerte der Fließkurven werden ins Verhältnis zu setzen und man erhält die Kurve der relative Viskosität  $\eta_E(D) / \eta_O(D) * 100$  in % als Maß der Enzymwirkung bei unterschiedlicher Scherbelastung.

Die Fließkurven werden mit Hilfe des OSTWALD-DE WAELE-Potenzgesetzes für pseudoplastisches Fließverhalten  $\tau = K D^n$  beschrieben. Die vom Schergefälle abhängige Viskosität – auch als Scheinviskosität bezeichnet – ergibt sich aus dem Verhältnis  $\eta = \tau / D$ .

Die aufgenommenen Fließkennwerte sind die Grundlage zur Bemessung von Mixchern, Rohrleitungen und Pumpen bei der Planung und Realisierung von Flüssigfütterungsanlagen.

### 3 Ergebnisse

Die Rühr- und Fließkurvenmessungen erfolgten mit einer Weizen- und einer Gerstenfuttermischung. Dabei war in eine Futterprobe 50 mg/kg Rovabio™ Excel AP eingemischt, die Vergleichsprobe (Nullprobe) hatte keinen Enzymzusatz.

Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Futterarten. Bei Gerstenfutter ist die Wirkung des Enzyms unter gleichen Bedingungen erheblich intensiver (Abb. 1). Eine weitere Einflussgröße ist der pH-Wert. Es ergab sich bei beiden Getreidearten als Optimum  $pH = 5,0 \dots 5,3$ . Eine Ansäuerung des Flüssigfutters ist demnach zu empfehlen, um die optimale Wirkung gewährleisten zu können.

Mit zunehmender Rührzeit nimmt auch die Wirkung von Rovabio™ Excel zu (Abb. 2). Das ist vermutlich mit der mechanischen Durchmischung und zunehmender Zerkleinerung von Futterpartikeln zu begründen. Das relative Drehmoment wird dabei von etwa 80 % nach 10 min auf 70 % nach 90 min vermindert.

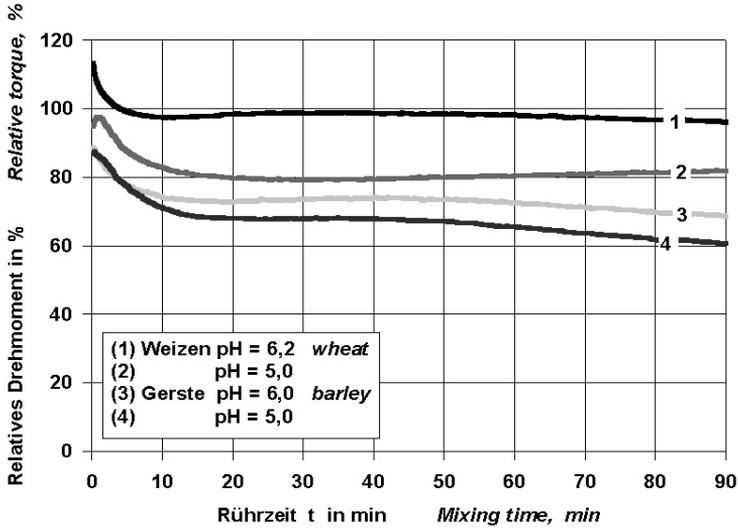


Abb. 1: Wirkung des pH-Wertes auf das Rührverhalten von Flüssigfutter (1:1,0) aus Weizen und Gerste  
 Effect of pH-value on mixing behaviour of wheat and barley water suspensions (1:2.0)

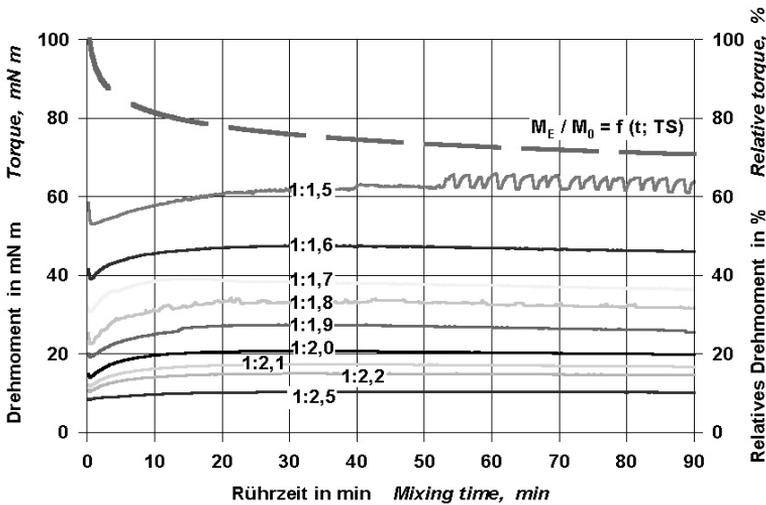


Abb. 2: Rührverhalten von Flüssigfuttermischungen auf Weizenbasis (1:1,5 ... 1:2,5) bei 20 °C und pH = 5,2  
 Mixing behaviour of wheat water suspensions (1:1.5 ... 1:2.5) at 20 °C and pH = 5.2

Die maximale Enzymwirkung vermindert sich erst, wenn Sedimentation auftritt, d.h. wenn freies Wasser vorhanden ist und keine intensive Scherung der Futterpartikel mehr erfolgt. Das ist bei einem Futter-Wasser-Verhältnis von  $1: > 2,4$  der Fall. Im Bereich von  $1:1,5$  bis  $1:2,3$  kann man dagegen von einer konstanten Wirkung des Enzymkomplexes ausgehen (Abb. 3). Für die Zeitabhängigkeit und für die Scherungsabhängigkeit ergeben sich daher typische Master-Kurven, mit denen man die Enzymwirkungen in Abhängigkeit vom TS-Gehalt berechnen kann. Mit steigender Scherung vermindert sich die Enzymwirkung in geringem Maße. Im Bereich der meisten technischen Anwendungen (Mischen, Pumpeneinsatz) liegt eine relativ konstante Wirkungsintensität von 50 bis 60 % vor.

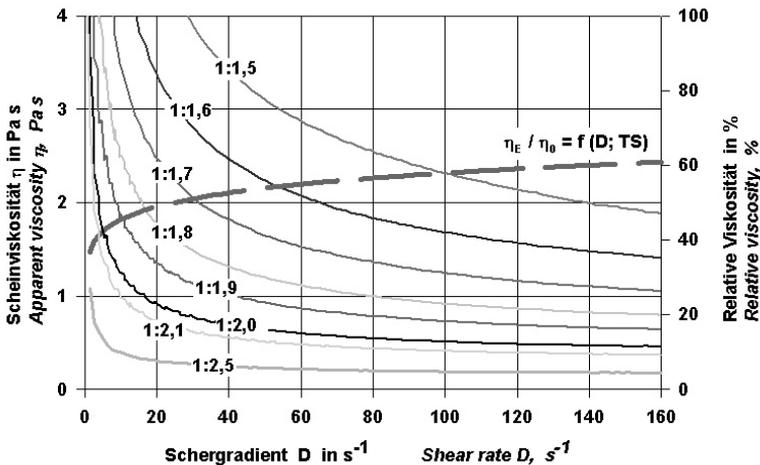


Abb. 3: Fließverhalten von Flüssigfuttermischungen auf Weizenbasis (1:1,5 ... 1:2,5) bei 20 °C und pH = 5,2 nach 90 min Rühren

*Flow behaviour of wheat water suspensions (1:1.5 ... 1:2.5) at 20 °C and pH = 5.2 after mixing of 90 min*

Ist die Viskosität für eine bestimmte Scherbelastung eines Futters ohne Enzym bekannt, kann man die Viskosität des Futters mit Enzymzusatz berechnen. In einem Beispiel (Abb. 4) wurde als konstanter Schergradient  $D = 100 \text{ s}^{-1}$  angenommen.

Die im Bereich TS = 25 bis 35 % beobachteten Enzymwirkungen (relativen Viskositäten) sind konstant. Bei Enzymzusatz erhält man ein Flüssigfutter mit 2 ... 2,5 % höherem TS-Gehalt bei gleicher Viskosität. Diese nur von der Futterzusammensetzung abhängigen Stoffeigenschaften werden in weiteren Untersuchungen systematisch bestimmt und sollen dem Anlagenplaner und dem Schweinehalter bei der Wirkungsoptimierung helfen.

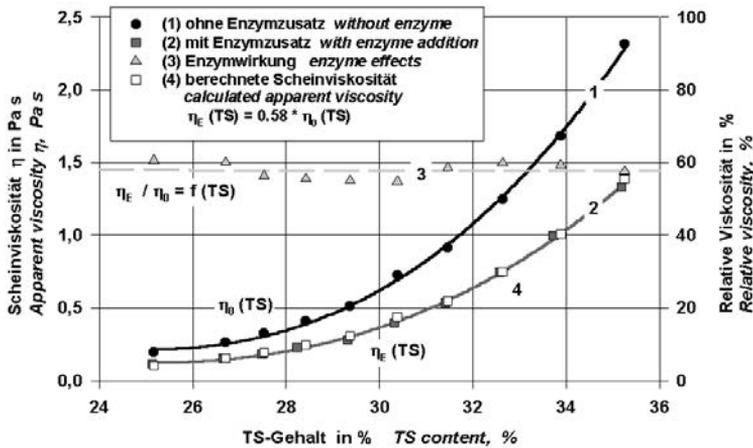


Abb. 4: Wirkung von Rovabio™ Excel auf die Viskosität von Flüssigfuttermischungen auf Weizenbasis (1:1.5 ... 1:2.5) bei konstanter Scherbelastung ( $D = 100 \text{ s}^{-1}$ )  
*Effect of Rovabio™ Excel on viscosity of wheat water suspensions (1:1.5 ... 1:2.5) at constant shear rate of  $D = 100 \text{ s}^{-1}$*

#### 4 Zusammenfassung

Die optimalen Wirkungsbedingungen des NSP- spaltenden Enzymkomplexes Rovabio™ Excel wurden hinsichtlich der Haupteinflussgrößen mit Weizen- und Gerstenfuttermischungen untersucht. Dabei spielt der pH- Wert eine erhebliche Rolle. Ein Ansäuern des Flüssigfutter auf  $\text{pH} < 5,4$  ist unerlässlich. Dann kann die Viskosität von Flüssigfutter deutlich reduziert werden.

Die Enzymwirkung ist bei Flüssigfutter auf Gerstenbasis deutlich stärker als bei Weizenfutter. Die Viskosität kann max. um 30 ... 40 % vermindert werden. Das Futter-Wasser-Verhältnis spielt dabei kaum eine Rolle. Die Enzymwirkung wird von der Rührzeit und der Scherbelastung beeinflusst. Dazu erfolgen systematische Versuche mit dem Ziel der Ermittlung und Modellierung optimaler Wirkungsbedingungen.

#### 5 Literatur

TÜRK, M. (1993): Rheologische Eigenschaften von Flüssigfutter. Bornimer Agrartechnische Berichte, ATB, Potsdam, Heft 3, S. 81–99.

Adisseo France SAS (2003): Neue Strategien in der Futtermittelformulierung.

TÜRK, M.; HEINZL, W.; KIESLING, W. (2001): Wirkung von  $\alpha$ -Amylase auf das Fließverhalten von Flüssigfutter. Landtechnik Heft 2, S. 88–89.

## Labour and energy consumptions of the main milking centre components in different characteristic dairy farms *Arbeitsaufwand und Energiebedarf für die wichtigsten Komponenten der Melkanlage in unterschiedlichen Milchviehbetrieben*

HÜLYA ÖZ<sup>1</sup>, HAMDİ BILGEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ege University, ege vocational training school, program of agricultural machinery, TR-35100 Bornova-Izmir

<sup>2</sup> Ege University, faculty of agriculture, department of agricultural machinery, TR-35100 Bornova-Izmir

**Keywords:** Labour productivity, energy consumption, milking machine, dairy

**Schlüsselwörter:** Arbeitsproduktivität, Energieverbrauch, Melkanlage, Milch, Milchproduktion

### Summary

*By eliminating unnecessary energy use, a farm can operate at lower production costs and higher profits (EDENS et al., 2003). This approach is valid for labour efficiency as well. Therefore, it is very important to determine how proper the equipments selected for milking centre, and how effective milking routine applied by milker are.*

*In this study, different dairy farms, with different herd size, milking parlour and milking routine, were chosen and labour requirements and energy consumption of milking facilities were measured in a certain period. The data obtained from the farms were compared base on milking procedures and energy utilization indices (EUIs) calculated.*

### Zusammenfassung

*Durch Eliminierung unnützen Stromverbrauchs kann ein Betrieb die Produktionskosten senken und höhere Profite erwirtschaften (EDENS et al., 2003). Dieser Ansatz gilt ebenso für die Arbeitseffizienz. Deshalb ist es sehr wichtig zu bestimmen ob die für die Melkanlage ausgewählte Ausrüstung angemessen ist und wie effektiv die Arbeitsroutine der Melker ist.*

*Für diese Studie wurden unterschiedliche Milchviehbetriebe mit unterschiedlicher Herdengröße, unterschiedlichen Melkanlagen und Melkroutinen ausgewählt, deren Arbeitsaufwand und Energieverbrauch der Melksysteme für ein bestimmtes Zeitintervall gemessen. Die Daten die die Betriebe lieferten wurden in Bezug auf die Melk-Ablauf verglichen und der jeweilige Energieverbrauchsindex (EUIs) berechnet.*

## 1 Introduction

The structure of the dairy farming varies from region to region in Turkey. On the western part of the country, the size of the farms is bigger and the milk yield of the cows is higher as compared to the other regions. On the other hand, in the future it is expected that the difference among the regions will disappear in terms of herd size, milk yield and mechanization level. The main reason for this improvement is new attempts to increase total milk production in dairy farms. For example, the average milk yield including all regions in Turkey is 1700 kg/cow, but in the farms, which are the members of the Cattle Breeders Association of Turkey, the average milk yield is 6000 kg/cow (IFCN, 2004).

The total milk production of Turkey is approximately 8,5 million tons and the 90 % of this amount is obtained from cows (SIS, 2002). 33 % of produced cow milk is harvested from culture breed, 52 % from crossbreed and 15 % domestic breeds. Ege Region, where research was held, has 12,3 % of total cow number of Turkey and 17,7 % of total milk production (IFCN, 2004). In the case of comparing with other regions in Turkey, the farm sizes and the lactation yield of the cows in Ege region are higher than the others.

Most of the studies indicated that the dairy farms spent 50–57 % of their labour time on milk harvesting (KLINDWORTH, 2003). Therefore, labour is one of the main components for dairy farming (up to 85 % of total costs) (IFCN, 2004). In addition, electrical energy consumption plays significant role in the overall cost of operating a dairy farm. By eliminating unnecessary energy use, a farm can operate with lower production cost and higher profits. In this approach, it is very important to know the labour productivities and the energy consumption values for milking in a dairy farm. Thus, it is possible to determine how effective milking routine applied by milker and how proper the equipment selected for milking parlour.

The objective of the study was to determine the labour requirements and energy consumption of milking facilities in dairy farms of different herd size and milking systems in Ege Region and to make suggestions in order to improve the efficiency of the labour and energy use of these farms.

## 2 Materials and Method

The measurements were made in three different dairy farms in Ege Region/Turkey. They are all the private farms and the members of the Cattle Breeders Association of Turkey. The properties of the dairy farms and the milking systems are given in Table 1.

For the labour time measurements, only milking procedure –started when the cows enter to milking parlour, finished when the cows leave from milking parlour- took count and measurements were made in evening milking time in each farm. In the dairy farms that work together with, there was no individual electricity meter to measure the electrical energy consumption of each milking related equipment. For this reason, data from the main electricity meter was recorded before the milking started and at the end of milking. The total energy demand of the vacuum pump, milk cooling system or water heater was found by subtracting these two and reported in kWh.

Tab. 1: The properties of the dairy farms and their milking systems

	DF-28	DF-56	DF-80
Housing system	Loose	Loose	Loose
Herd size	80	127	175
The number of milking cows	28	56	80
Lactation yield (kg)	6700	7000	7900
Milking frequency per day	2	2	2
The number of milker*	2	2	3
Milking system	Pipeline (low level milk line)	Pipeline (high level milk line)	Pipeline (low level milk line)
Milking parlour	1 x 8 herringbone	2 x 4 herringbone	2 x 8 herringbone
The number of clusters	8	4	16
Automatic herd management system	Not available	Not available	Available
Automatic cluster remover	Not available	Not available	Available

\* Working simultaneously during milking period.

### 3 Results and Discussion

In order to make clear results and concrete comments about the labour consumption of the farms, it is important to observe the milking time routine. From this point of view, milking procedure of each farm was tabulated in Table 2. Milking routine was split into 7 steps to define the differences among the farms. The main differences were detected in step 2 (teat cleaning), 5 (additional works) and 6 (teat disinfection). Figure 1 shows the time consumption of the main milking routine in DF-28, DF-56 and DF-80. It seems that in most working routine DF-28 has higher time consumption than DF-56 and DF-80. It is possible to say DF-56 has better milking time productivity when compared with the others. Especially in DF-28 procedure before milking and in DF-80 procedure after milking has a highest time requirements. As a result, it is possible to say that the labour productivity in DF-56 is better than the other two.

On the other hand, to improve and support this comment it will be useful to examine Figure 2. This figure shows comparable the various data from three farms. In case of comparing the total milking time and average time demand for main milking duration, DF-28 and DF-80 have some problems with their milking procedure, milking system, operators or cows.

Tab. 2: The milking procedure of each dairy farm

Steps	The name of the activity	DF-28	DF-56	DF-80
1	Entrance to milking parlour (by milker)	+	+	+
2	Teat cleaning	+	+	+
	Washing with liquid included detergent	-	-	+
	Drying with towel (individual towels)	-	-	+
	Wiping with wet tissue	+	-	-
	Foremilking	+	-	-
	Cleaning with dry fabric towel (individual towels)	-	+	-
	3	Cluster attachment	+	+
4	Main milking	+	+	+
5	Additional works	+	+	+
	Stripping with machine	+	+	+
	Time waste for milker	+	-	+
	Deattaching of falling clusters	+	-	+
	Washing of falling clusters	-	-	+
	Washing the clusters between two cows	+	-	-
	Milking by hand at the end of machine milking	+	-	-
6	Teat disinfection after milking	+	+	+
	Spraying	+	-	-
	Teat dipping	-	+	+
7	Exit from milking parlour	+	+	+

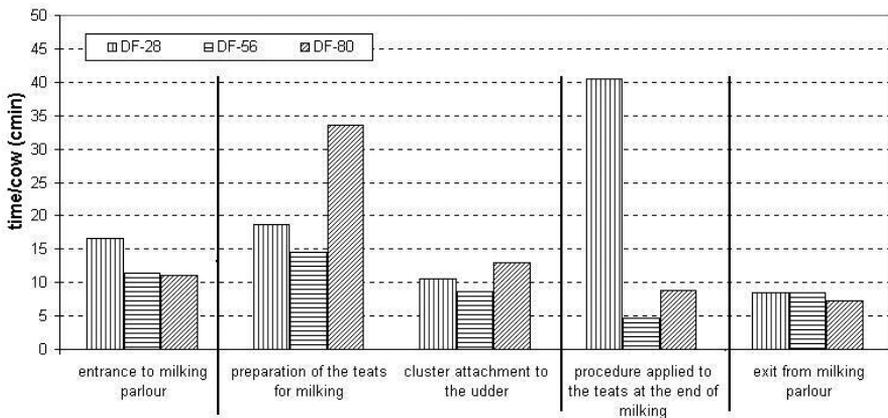


Fig. 1: Time consumption of the main milking routine in DF-28, DF-56 and DF-80  
 Zeitbedarf für die wichtigsten Arbeitsschritte der Melkroutine in DF-28, DF-56 und DF-80

It was found that the main milking time of the DF-80 is quite higher than the others even though the milk yield and the technical properties of the milking machine were similar. The higher milking time of the DF-80 can be explained by the differences in terms of the behaviour of the cows in DF-80 since quarter of the cows was their first lactation and some of the others were just at the beginning of their lactation period. This was observed during the farm visit, the cows in DF-80 did not want to get the cluster attached to their udder and they tried to kick and get rid of the cluster.

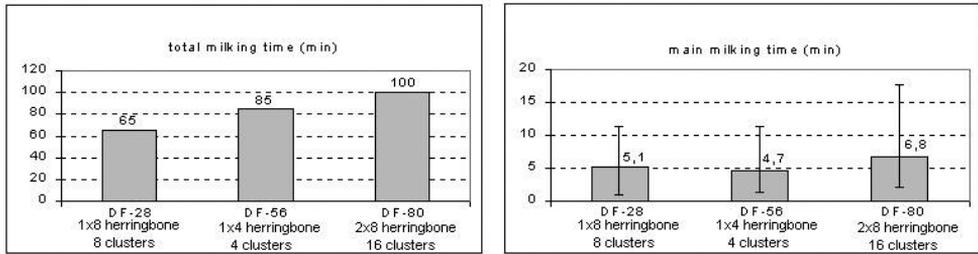


Fig. 2: The various data from DF-28, DF-56 and DF-80  
 Die verschiedenen Daten von DF-28, DF-56 und DF-80

Table 3 contains figures of;

- Cluster numbers per milker
- Number of cows milked per milker per hour
- Amount of milk harvested per milker per hour for each of farm.

The figures in Table 3 supported the problems in DF-28. In another words, DF-56 and partially DF-80 has the higher labour productivity.

Tab. 3: The labour productivity values in DF-28, DF-56 and DF-80

	The number of the cluster per milker	The number of the cow per milker per hour	The amount of the milk per milker per hour (kg)
DF-28	4	6	142
DF-56	2	20	212
DF-80	5	16	227

The recorded energy consumption of the milking time in the milking centre can be compared using energy utilization indices (EUIs). The two indices were calculated as kilowatt-hours per cow per year (kWh/cow/year) and kilowatt-hours per 100 kg of milk harvested. The data for EUIs are given in Table 4. The energy consumption measured only during milking time -not included washing of milking machine and cooling of harvested milk-, because there is no individual electricity meter. Hence, the values include energy demand of only milking machine on and off period. It is obvious that DF-56 has lower energy consumption per cow-year and per 100 kg harvested milk. The results given in Table 4 are the preliminary results of the recorded data and the measurements are in progress.

Tab. 4: Comparison of the EUIs values of DF-28, DF-56 and DF-80

	kWh/cow/year	kWh/100 kg
DF-28	Not available*	Not available*
DF-56	25,55	0,3
DF-80	47,45	0,45

\* Recording error by operator

## 4 Conclusion

It is suggested that the milking should take no more than 1,5–2 hours. In this point of view, the total milking time of DF-28, DF-56 and DF-80 was found to be 1 h 5 min, 1 h 25 min and 1 h 40 min, respectively and they are in acceptable range. But to improve labour productivity some changes are needed in the farms especially in DF-28 and DF-80. Because all three farm have herringbone milking systems, in case of improvement of technical properties of milking machine and milking routine, it is possible the decrease labour and energy cost of the per litre of produced milk.

The followings are suggested to improve the productivity:

- Well designed milking parlour for good cow flow and efficient milker operation,
- Well managed use of some automation like automatic cluster removers, automatic crowd gates etc.,
- Working with experienced milker and the orientation of the milker,
- Good balance between labour available and the number of milking cluster.

## 5 References

INTERNATIONAL FARM COMPARISON NETWORK (IFCN) (2004): Dairy Report 2004. Braunschweig, Germany. [www.ifcnnetwork.org](http://www.ifcnnetwork.org).

KLINTWORTH, D. E. (2003): A Snap Shot of Australian Milking Systems and Their Productivity, ASAE Publication Number 701P0203, Fifth International Dairy Housing Proceedings of the 29–31 January 2003, Texas, USA.

EDENS, W. C.; PORDESIMO, L. O.; WILHELM, L. R.; BURNS, R. T. (2003): Energy Use Analysis of Major Milking Center Components at a Dairy Experiment Station, Applied Engineering in Agriculture Vol. 19(6): 711–716.

STATE INSTITUTE OF STATISTICS, PRIME MINISTRY REPUBLIC OF TURKEY (SIS) (2002): Agricultural Structure (Production, Price, Value), Ankara, Turkey. [www.die.org.tr](http://www.die.org.tr).

## Electric Energy Consumption on Large Dairy Farms *Verbrauch an Elektroenergie in großen Milchfarmen*

JIŘÍ VEGRIČT, ANTONÍN MACHÁLEK, PAVEL AMBROŽ

Research Institute of Agricultural Engineering, Prague

**Keywords:** Dairy farms, technical systems, electroenergie consumption

**Schlüsselwörter:** Milchfarm, technische Systeme, Elektroenergieverbrauch

### Summary

The electric energy on 16 dairy farms with total number of 5934 dairy cows was measured. During that investigation was found-out, among others, significant dependence between energy consumption and length of the day, energy consumption and outdoor temperature and electric energy consumption and milk yield. In the tied stables the electric energy has ranged from 735–930 kWh/cow/year and in the free box stables with milking in the milking parlour it ranges from 320–1025 kWh/cow/year. The milking parlour with the dairy barn consumes up to 80 % of total electric energy needed for the dairy farm operations. It was proved that the electric energy consumption for 100 l of milk acquisition depends significantly on average milk yield and with increasing cows milk yields decreases considerably. Also significant dependence of the electric energy specific consumption for 100 l milk production on the farm size was found. On basis of the found-out values the normative figures of the electric energy were specified for large dairy farms in dependence on farm size and milk yield.

### Zusammenfassung

Der Energieverbrauch von 16 Milchfarmen mit insgesamt 5934 Milchkühen wurde untersucht. Dabei wurde unter anderem signifikante Abhängigkeit zwischen dem Energieverbrauch und der Außentemperatur sowie zwischen dem Energieverbrauch und der Milchleistung ermittelt. In Anbindställen lag der Energieverbrauch zwischen 735 und 930 kWh/Kuh/Jahr. In Liegenboxenställen mit Melkstand lag der Verbrauch zwischen 320 und 1025 kWh/Kuh/Jahr. Melkstand und Milchlagerung konsumieren bis 80 % von der Gesamtenergie, die für den Farmbetrieb notwendig ist. Es wurde nachgewiesen, dass der Energiebedarf der zur Gewinnung von 100 Liter Milch notwendig ist, von der durchschnittlichen Milchleistung abhängig ist und mit Leistungssteigerung bedeutend sinkt. Es wurde auch eine signifikante Abhängigkeit des spezifischen Energieverbrauchs pro 100 Liter produzierte Milch von der Betriebsgröße festgestellt. Auf Basis der ermittelten Werte wurden Normwerte des elektrischen Energiebedarfes für große Milchfarmen in Abhängigkeit von der Betriebsgröße und der Nutzleistung bestimmt.

## 1 Introduction

The energy costs represent considerable item of total production costs. The electric energy consumption is effected by bred animals milk yield, outdoor climate factors and construction – technical design of stable and other factors. The scope of the research was to find – out the electric energy consumption on basis of measurement conducted on real dairy farms and to suggest electric energy standards for dairy farms in the Czech Republic.

## 2 Methodology

To find-out the electric energy consumption on dairy farms were used the recorded data of individual enterprises, previous measurement, target – oriented measurement just in stables and farms by electrometers with impulse output. By this method were obtained very precise and detailed information on total consumption and consumption course of electric energy within a day, month, year. Both, total consumption of electric energy on farm during longer time period and consumption course of electric energy of partial technological milking and milk cooling systems, feeding, manure removal, lighting etc. was recorded.

## 3 Results

Total consumption of electric energy on selected farms was investigated within long-time period. Total electric energy consumption is influenced by plenty of local effects and specific features. It concerns for example the construction and technical farm and stables design, used technology and management and work organisation on farm. Significant could also be the social background solution for operators, farm lighting and some other necessary farm equipment.

It is possible to determine from the so far obtained results that total annual electric energy consumption in tie stable with mobile milking in stall and stationary feeding line including feed preparation room is about 810–930 kWh/cow. In tie stable with pipe milking and mobile feeding line the total annual consumption of electric energy is lower and represents 735–750 kWh/cow. For dairy cows housing in loose box stable and milking in milking parlour the found average annual consumption of electric energy ranges from 320 kWh/cow to 1025 kWh/cow.

The upper measured values show significant non-effective utilisation of electric energy for milk production. Most of measured stables ranges to limit of 700 kWh/cow. Even in this case this value is too high and gives evidence on management poor care for energy savings.

Similar data published in literature give electric energy consumption also in very large range. AEL (2000) has recommended to use as the calculating value the electric energy consumption in height of 5 kWh/100 kg of milk, i. e. (on annual milk yield 7000 l/cow) consumption of 350 kWh/cow/year. In contrary measurement carried-out on Saxonian dairy farms (MÖBIUS, 2002), which are similar those in the Czech Republic as their size and used technology regards), the electric energy consumption was found-out for one dairy cow/year in range from 253–1200 kWh and average consumption was 535 kWh/cow/year.

There was confirmed the expectation, i. e. that total and also specific consumption of electric energy depends considerably on the year's period.

There exist two kinds of that dependence. If only energy consumption for milking, milk cooling, lighting without energy needed for heating in the milking parlour and space for operators is evaluated, than total electric energy consumption in the summer period is higher compared with the winter period. This is caused by higher energy consumption for milk cooling at higher outdoor temperature. In case we evaluate total energy consumption on farm, then the electric energy consumption was lower in summer period than in winter in all investigated events. The cause of it is relative high consumption of electric energy for heating in the milking parlour, social background and for drink water heating. This can be seen in the graph of the electric energy consumption course on farm for 820 dairy cows (Fig. 1).

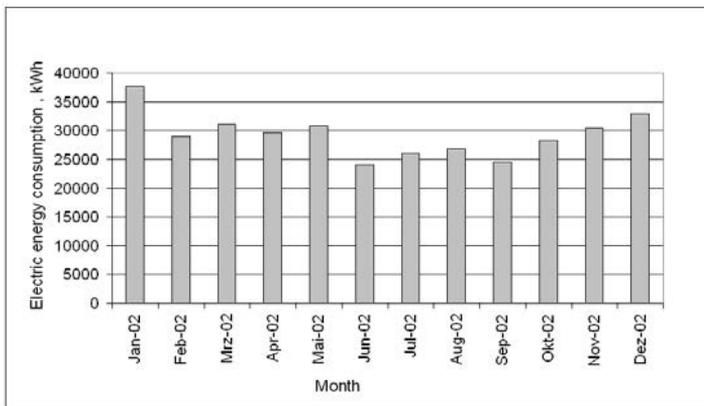


Fig. 1: Electric energy consumption on farm for 820 dairy cows - free box stable, herringbone parlour 2 x 2 x 6, milkstorage room for 15.000 l

*Energieverbrauch auf einem Betrieb mit 820 Milchkühen – Liegeboxenstall, Fischgrätenmelkstand 2 x 2 x 6, Milchlagerkapazität 15.000 l*

Besides total electric energy consumption measuring for milk production also more detailed energy consumption investigation was conducted by selected technical systems.

Unambiguously the largest consumer of electric energy is the milking parlour with the milk storeroom consuming up to 80 % of total electric energy necessary for dairy farm operation. In the graph (Fig. 2) is shown the found share of housing systems and milking parlour facility involving milking, milk cooling and storage, milking parlour heating, warm water heating and social background.

It is evident, that the dominant share from total electric energy consumption on dairy farm represents cooling and milk storage (up to 30 %). There is necessary to search and realise the most effective measures for electric energy consumption.

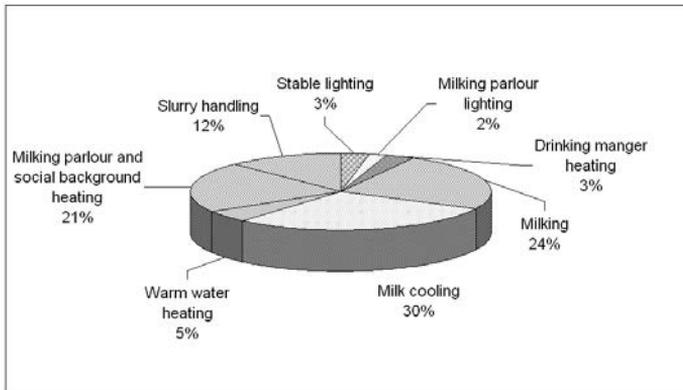


Fig. 2: Share of technical system on electric energy consumption on the farm for 613 dairy cows – free box stable, 24-rotary parlour, milkstorage room for 25.000 l  
*Anteil der technischen Systeme am Energieverbrauch auf einem Betrieb mit 613 Milchkühen – Liegeboxenstall, 24er Karussell-Melkanlage, Milchlagerkapazität 25.000 l*

The big part of the total electric energy consumption on dairy farm represents warm water heating. For this purpose is suitable to utilise heat from the milk cooling. This was proved in trial, where was investigated average consumption of electric energy for water heating without recuperation and for utilisation of heat acquired during milk cooling. While in the first case the average daily consumption of electric energy for water heating was 101 kWh, using of water heated by the recuperation exchanger of the cooling condensation units for electric boilers feeding meant reduction of this consumption to 51 kWh. Thus, it is evident that heat recuperation for milk cooling heads to considerable savings (up to 50 %) of electric energy necessary for warm water heating in the milking parlour and milk store barn. Relative small share from the total consumption of electric energy in the milking parlour facility represents its lighting (15–20 kWh/day) and consumption of milking apparatus and cooling tanks sanitary.

The electric energy consumption for the stable space lighting significantly depends on the construction – technical stable solution (width, height, windows size and number, skylight size ...), number and type of lighting bodies and outdoor light intensity. Within our measurement was proved considerable dependence between electric energy consumption for stable lighting and day's length (correlation coefficient – 807).

The electric energy consumed by the sweeping shovel for manure removal is highly influenced by the removal frequency (i. e. number of switching) during a day. The found average consumption of electric energy per 1 removing cycle (feeding and manure corridor of total area 445,5 m<sup>2</sup>) was 0,95 kWh, i. e. 0,21 kWh/100 m<sup>2</sup>.

On basis of the all acquired results there was investigated the electric energy consumption for 100 litres of milk with regard to the milk yield and farm size. These dependencies were proved and have enabled to specify normatives for average consumption of electric energy on large dairy farms in the Czech Republic. The suggested normatives are presented in Tab. 1. In the graph in Fig. 3 is shown relative high correlation dependencies between energy consumption for 100 l of milk and farm size at average annual milk yield of one dairy cow 7000 l.

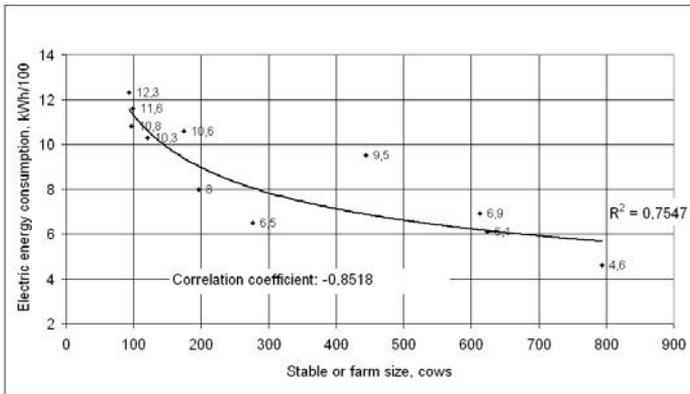


Fig. 3: Dependence of electric energy consumption on stable or farm size by average milk yield 7000 l / cow / year  
 Abhängigkeit des Energieverbrauchs von Stall- bzw. Betriebsgröße bei einer durchschnittlichen Milchleistung von 7000 l / Kuh / Jahr

## 4 Conclusions

From the so far realised measurement of the electric energy consumption on dairy farms resulted that total consumption of electric energy depends on used technological systems for breded animals and fluctuates during a year mainly in dependence on average outdoor temperature and length of a day. Its value found during measurement on selected dairy farms is relative high and falls in the range from 420–1060 kWh per 1 dairy cow and year.

Tab. 1: Normative consumption of electric energy on dairy farms

Number of cows on farm	Electric energy consumption							
	kWh/cow/year at annual milk yield, l				kWh/100 l of milk at annual milk yield, l			
	5000	7000	9000	11000	5000	7000	9000	11000
100	743	788	834	879	14.9	11.3	9.3	8.0
200	597	644	692	739	11.9	9.2	7.7	6.7
300	525	572	621	668	10.5	8.2	6.9	6.1
400	479	526	574	621	9.6	7.5	6.4	5.6
500	447	493	541	587	8.9	7.0	6.0	5.3
600	422	468	515	561	8.4	6.7	5.7	5.1
700	402	447	494	540	8.0	6.4	5.5	4.9
800	385	430	477	522	7.7	6.1	5.3	4.7

The crucial share from the electric energy consumption represents milking and milk cooling and warm water heating, which amounts up to 80 % of total consumption of electric energy on farm. From this consumption the highest part takes the milk cooling (45 %), i. e. about 36 % of total consumption of electric energy on farm.

## 5 References

VEGRICHT, J.; MACHÁLEK, A. (2003): Analýza technických parametrů v intenzivním chovu skotu z hlediska pracnosti, energetické, materiálové a investiční náročnosti , Anual research report 2003, VUZT Prag, 52 p.

MÖBIUS, J.:(2002): Rationelle Elektroenergieanwendung in der Milchproduktion, Neue Landwirtschaft, 2/2002, 64–68, 3/2002, 60–64.

AEL; (2000): Elektroenergiebedarf in der Milchvieh- und Schweinehaltung, Merkblatt 33/2000, 6 p.

This article was prepared in connection with solution of Grant projects NAZV of the Ministry of Agricultural of Czech Republic No. QF 4145.

## Can the additive “Effective Micro-Organisms (EM)” reduce ammonia and greenhouse gas emissions from slurry stores? Vermindert der Zusatz „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ $\text{NH}_3$ - und klimarelevante Emissionen aus Flüssigmistlagern?

BARBARA AMON, VITALIY KRYVORUCHKO, THOMAS AMON, GERHARD MOITZI

Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien

**Keywords:** Manure management, slurry additive, environmental protection, ammonia, methane, nitrous oxide

**Schlüsselwörter:** Wirtschaftsdüngermanagement, Flüssigmistzusatz, Umweltschutz, Ammoniak, Methan, Lachgas

### Summary

Experiments were carried out to investigate the influence of the additive “Effective Micro-Organisms (EM)” on  $\text{NH}_3$  and GHG emissions from cattle and pig slurry stores. Emissions were measured from five 10 m<sup>3</sup>-pilot scale slurry tanks with a large open dynamic chamber. The effect of the following treatments was investigated: cattle slurry with and without EM, pig slurry with and without EM, and pig slurry where EM (as EM FKE) had been used as feed additive in the pigs’ feed. Addition of EM at the beginning of cattle slurry storage had positive environmental effects. A reduction in  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , and GHG emissions was observed. With pig slurry, EM addition at the beginning of slurry storage had no or negative effects on the emissions of  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , and greenhouse gases. The very low dry matter content of the pig slurry is very likely the reason for this phenomenon. EM addition to the pigs’ feed declined emissions during pig slurry storage.

### Zusammenfassung

Der Einfluss des Flüssigmistzusatzes „Effektive Mikro-Organismen (EM)“ auf den Umfang von  $\text{NH}_3$ - und klimarelevanten Emissionen während der Lagerung von Rinder- und Schweineflüssigmist wurde untersucht. Der Flüssigmist wurde in 10 m<sup>3</sup> großen Betonbehältern gelagert. Emissionen wurden einem großen mobilen Emissionsmessraum gemessen. Die Versuche umfassten die folgenden Varianten: Rinderflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz, Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz und Flüssigmist von Schweinen, an die EM in Form von EM-FKE verfüttert worden war. Wurde EM zu Beginn der Lagerung von Rinderflüssigmist zugesetzt, so verminderten sich die gasförmigen Emissionen von  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und die Gesamtemission an klimarelevanten Gasen. Bei Schweineflüssigmist hatte der EM-Zusatz am Beginn der Lagerung keine oder negative Effekte auf die Emissionen von  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  und auf die Gesamtemission an klimarelevanten Gasen. Die Ursache hierfür liegt vermutlich in dem sehr geringen Trockensubstanzgehalt des untersuchten Flüssigmistes. Der Zusatz von EM-FKE zum Schweinefutter reduzierte Emissionen während der Flüssigmistlagerung signifikant.

## 1 Introduction

Animal husbandry results in considerable emissions of ammonia ( $\text{NH}_3$ ), methane ( $\text{CH}_4$ ) and nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Ammonia emissions cause eutrophication and acidification and thus play an important role in the decline of biodiversity and dying of forests. Critical loads are exceeded in many parts of Europe. Negotiations within the UN-ECE-countries aim at controlling ammonia emissions.  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  are greenhouse gases and contribute to global warming. Agriculture is the principal source of  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  at EU level. The Kyoto Protocol requires EU greenhouse gas emissions to be reduced by 8 % below 1990 level by the year 2008–2012. A large proportion of animal manures produced within the EU are stored as slurry, a mixture of faeces, urine and often some bedding material.

Emissions of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{CH}_4$  are influenced by a multitude of different factors. Complex interactions exist between different emitting sources. This requires a whole system approach when carrying out emission measurements. The control of the emission of one compound might enhance the emission of another compound or of the same compound but at another stage of management.

An additive can be defined as a substance that is to a livestock waste with the intention of alleviating one or more of the problems connected with manure management (MCCRORY & HOBBS 2001). Numerous types of additives have been investigated over the last three decades including bacterial-enzymatic preparations, plant extracts, oxidizing agents, disinfectants, urease inhibitors, masking agents, and adsorbents. However, the effectiveness of additives has been the subject of debate (PAIN et al. 1987, RITTER 1989, ZHU et al. 1997).

The additive "Effective Micro-Organisms (EM)" is distributed in Austria by Multikraft Ltd. EM is widely applied in horticulture, as feed additive (as EM FKE), in animal houses, as slurry additive, etc. EM consists of several micro-organisms and it is anticipated that these reduce ammonia ( $\text{NH}_3$ ), nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), methane ( $\text{CH}_4$ ), and odour emissions from slurry stores. The experiments aimed at investigating the influence of EM on ammonia, and GHG emissions from cattle and pig slurry stores.

## 2 Materials and Methods

Cattle and pig slurry was stored in five 10 m<sup>3</sup>-pilot scale slurry tanks. A full description of the measurement technology can be taken from "Influence of different levels of covering on greenhouse gas and  $\text{NH}_3$  emissions from slurry stores" (these proceedings).

The effect of the following treatments was investigated: cattle slurry with and without

EM, pig slurry with and without EM, and pig slurry where EM (as EM FKE) had been used as feed additive in the pigs' feed. The treatments "cattle\_EM" and "pig\_EM" received an EM addition of 1 l m<sup>-3</sup> right after the pilot scale slurry tanks had been filled.

Cattle slurry was received from an Austrian farm that keeps 36 suckling cows (Simmental, Limousine and Murbodner) according to the regulations of organic farming. The suckling cows were fed grass silage, hay and some barley straw. The animal house had a slatted floor in the feeding area, lying boxes, and an outside pen.

Pig slurry for the treatments "pig\_untreated" and "pig\_EM" was received from a farm that keeps 300 fattening pigs on partly slatted floors. Slurry was diluted with rain and wash water and was stored in a below ground store outside the pig house. The pigs received dry feed that

consisted of soya, peas, potato protein, barley, triticale, and maize. Pig slurry for the treatment "pig\_EMfeed" was received from a farm with 35 breeding sows and 230 fattening pigs that were kept on partly slatted floors. The slurry was stored outside the house in a covered store. The pig feed consisted of wheat, soya, and CCM. EM FKE was added to the pigs' feed.

Statistical data analysis was carried out with the software package SPSS, version 10.0. Regression curves were fitted to cumulative emissions. Differences in regression equations were tested with a pair wise comparison of regression parameters by the t-test. Level of significance was set to at least 0.05.

### 3 Results and Discussion

Figure 1 gives an example of cumulated emissions that were measured from cattle slurry stores. More details can be found in AMON et al. (2004). Regression curves were fitted to cumulated emissions. Regression equation and coefficient of determination are given in figure 1.

EM addition had no significant influence on methane emissions from slurry stores. They were predominantly determined by slurry temperature. An exponential correlation between slurry temperature and daily methane emission rates was observed (Fig. 2). The coefficient of determination was 0.9.

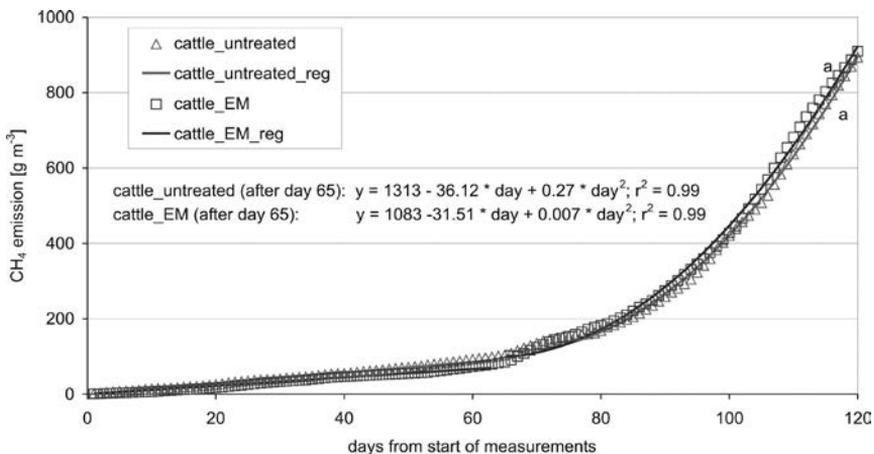


Fig. 1: Cumulated methane emissions from cattle slurry with and without addition of EM

Table 1 summarises CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and greenhouse gas emissions during storage of cattle slurry with and without EM addition. Greenhouse gas emissions are given as CO<sub>2</sub> equivalents. Net total CO<sub>2</sub> eq. result from the addition of methane emissions \* 21 and nitrous oxide emissions \* 310 (IPCC 1996). EM addition did not significantly alter CH<sub>4</sub> emissions. N<sub>2</sub>O emissions were significantly lowered through EM. Net total greenhouse gas emissions were lower from EM amended cattle slurry than from untreated cattle slurry. Ammonia emissions and thus nitrogen losses during slurry storage were significantly reduced when EM was added to cattle slurry at the beginning of the storage period. Addition of EM showed a positive effect on the reduction of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, and greenhouse gas emissions. Negative effects were not observed.

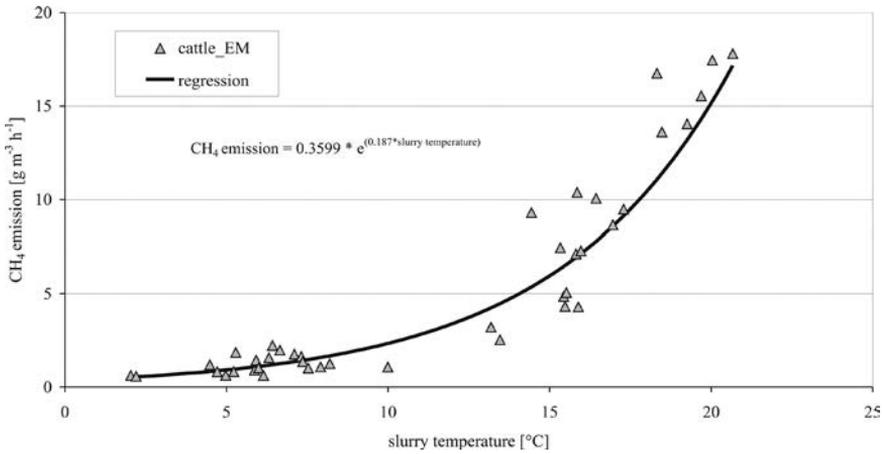


Fig. 2: Correlation between daily methane emissions and slurry temperature (treatment: cattle slurry with EM addition)

Tab. 1: NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and greenhouse gas emissions during storage of cattle slurry with and without EM

Treatment	CH <sub>4</sub> [g m <sup>-3</sup> slurry]	NH <sub>3</sub> [g m <sup>-3</sup> slurry]	N <sub>2</sub> O [g m <sup>-3</sup> slurry]	GHG <sup>a</sup> [kg CO <sub>2</sub> eq. m <sup>-3</sup> ]
cattle_withoutEM	894.2	152.7	60.0	37.4
cattle_withEM	910.1	121.9	50.1	34.6

<sup>a</sup> GHG = greenhouse gas

Table 2 summarises CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and greenhouse gas emissions during storage of pig slurry with and without EM addition, and of pig slurry that was received from pigs that were fed EM FKE. CH<sub>4</sub>, and GHG emissions are given per kg of VS in the slurry. NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O emissions are expressed as g N per g of total nitrogen. The treatments “pig\_withoutEM”, and “pig\_withEM” had a very low dry matter content of 1.97 %. Dry matter content of the slurry “pig\_EMfeed” was 5.40 %. Net total emissions can therefore not be compared if expressed as per g of slurry fresh matter.

Tab. 2: NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and greenhouse gas emissions during storage of pig slurry with and without EM and of slurry from pigs where EM was used as feed additive

Treatment	CH <sub>4</sub> -C [g (kg VS) <sup>-1</sup> ]	NH <sub>3</sub> -N [g / (kg Nt) <sup>-1</sup> ]	N <sub>2</sub> O-N [g / (kg Nt) <sup>-1</sup> ]	GHG <sup>a</sup> [kg CO <sub>2</sub> eq. m <sup>-3</sup> / (kg VS) <sup>-1</sup> ]
pig_withoutEM	97.9	51.9	4.3	4.83
pig_withEM	99.8	58.7	5.3	5.37
pig_EMfeed	22.8	31.6	3.3	2.24

<sup>a</sup> GHG = greenhouse gas

Pig slurry without EM addition emitted 97.9 g CH<sub>4</sub>-C (kg VS)<sup>-1</sup>. When EM was added at the beginning of slurry storage, CH<sub>4</sub> emissions slightly rose to 99.8 g CH<sub>4</sub>-C (kg VS)<sup>-1</sup>. The difference was not significant. EM addition to the pigs' feed drastically reduced methane emissions during slurry storage to 22.8 g CH<sub>4</sub>-C (kg VS)<sup>-1</sup>. From untreated slurry, 51.9 g NH<sub>3</sub>-N (kg Nt)<sup>-1</sup> were lost. EM addition at the beginning of slurry storage increased NH<sub>3</sub> emissions by c. 13 %. When pigs were fed EM, NH<sub>3</sub> emissions during slurry storage significantly decreased by c. 40 %. Addition of EM at the beginning of slurry storage led to an increase in net total nitrous oxide emissions. Untreated pig slurry emitted 4.3 g N<sub>2</sub>O-N (kg Nt)<sup>-1</sup>. When EM was added, cumulated emissions of 5.3 g N<sub>2</sub>O-N (kg Nt)<sup>-1</sup> were measured. N<sub>2</sub>O-N emissions from the treatment "pig\_EMfeed" were c. 23 % lower than from untreated slurry. EM addition to the pigs' feed reduces N<sub>2</sub>O-N emissions during slurry storage. As with the other gases, a net total increase in GHG emissions was observed when EM was added only at the beginning of pig slurry storage. Feeding EM resulted in a c. 54 % reduction in GHG emissions.

## 4 Conclusions

Addition of "Effective Micro-Organisms (EM)" at the beginning of cattle slurry storage (dry matter 9.39 %) had positive environmental effects. Methane emissions were only to a small extent influenced by EM addition. A significant reduction in ammonia and nitrous oxide emissions was observed. Net total greenhouse emissions were lower with EM addition. In further experiments the impact of EM FKE addition to cattle feed on emissions during slurry storage should be clarified.

With pig slurry, EM addition at the beginning of slurry storage had no or negative effects on the emissions of CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and greenhouse gases. The very low dry matter content of the pig slurry is very likely the reason for this phenomenon. Dry matter content was only 1.97 %, which is unusually low. Effective Micro-Organisms can not optimally develop in slurry with a very low dry matter content. Thus, the experiment will be repeated with pig slurry that has a higher dry matter content. Only then reliable information on the effect of EM addition on emissions during pig slurry storage can be obtained. EM FKE addition to the pigs' feed significantly reduced emissions of CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and greenhouse gases. EM addition to the feed has positive environmental effects on emissions during pig slurry storage.

## 5 References

- AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, T.; MOITZI G. (2004). Ammonia, methane and nitrous oxide emissions during storage of cattle and pig slurry and influence of slurry additive „Effective Micro-Organisms (EM)“, Final Report 2004. [www.multikraft.com](http://www.multikraft.com)
- IPCC (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. In: Intergovernmental Panel on Climate Change; J. T. HOUGHTON, L. G. MEIRA FILHO, B. A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG, and K. MASKELL, (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- MCCRORY, D. F.; HOBBS, P. J. (2001). Additives to Reduce Ammonia and Odor Emissions from Livestock Wastes: A Review. *J Environ Qual.* (2): 345–355.

PAIN, B. F.; THOMPSON, R. B.; DE LA CREMER, L. C. N.; TEN HOLTE, L. (1987). The use of additives in livestock slurries to improve their flow properties, conserve nitrogen and reduce odours. In: Van Der Meer et al. (ed.) Development in plant soil sciences. Animal manure on grassland and fodder crops. Fertiliser or waste? Martius Nijhoff Publ., Dordrecht, the Netherlands. p. 229–246.

RITTER, W. F. (1989). Odour control of livestock manure: State-of-the-art in North America. J. Agric. Eng. Res. 42:51–62.

ZHU, J.; BUNDY, D. S.; XIWEI, L.; RASHID, N. (1997). The hindrance in the development of pit additive products for swine manure odor control - A review. J. Environ. Sci. Health. A 32:2429–2448.

### **Acknowledgements**

The work was funded by Multikraft Ltd., Austria.

## Influence of different levels of covering on greenhouse gas and NH<sub>3</sub> emissions from slurry stores

### *Wirkung verschiedener Abdeckungen auf Ammoniak- und klima-relevante Emissionen während der Flüssigmistlagerung*

BARBARA AMON, VITALIY KRYVORUCHKO, THOMAS AMON

Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien

**Keywords:** Manure management, anaerobic digestion, environmental protection, ammonia, methane, nitrous oxide

**Schlüsselwörter:** Wirtschaftsdüngermanagement, Biogaserzeugung, Umweltschutz, Ammoniak, Methan, Lachgas

### Summary

Different levels of covering slurry stores may influence NH<sub>3</sub> and GHG emissions. Emissions were followed from storage of untreated slurry with and without a wooden cover and from anaerobically digested slurry without any cover, with a layer of chopped straw and with a layer of chopped straw and a wooden cover. Experiments were carried out under cold winter and under warm summer conditions. Slurries were stored in 10 m<sup>3</sup>-pilot scale slurry tanks and emissions were quantified with a large open dynamic chamber. Anaerobic digestion was found to be an effective mitigation option for GHG emissions from slurry stores. A wooden lid placed on the slurry tank reduced CH<sub>4</sub> and NH<sub>3</sub> emissions, whereas NH<sub>3</sub> emissions from uncovered anaerobically digested slurry were high. A layer of chopped straw was less effective in reducing NH<sub>3</sub> emissions and has the potential to increase greenhouse gas emissions. It is recommended that slurry tanks, and particularly those used for storage of slurry treated in biogas plants, are equipped with a solid cover.

### Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt untersuchte NH<sub>3</sub>-, N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen während der Lagerung von unbehandeltem Flüssigmist mit und ohne feste Behälterabdeckung und von anaerob vergorenem Flüssigmist ohne Abdeckung, mit einer Strohhäckselschicht und mit einer Strohhäckselschicht und zusätzlich einer festen Behälterabdeckung. Die Versuche wurden zweimal durchgeführt: im Winter und im Sommer. Der Flüssigmist wurde in 10 m<sup>3</sup> großen Betonbehältern gelagert. Emissionen wurden mit einem großen mobilen Emissionsmessraum gemessen. Die Biogaserzeugung erwies sich als effiziente Maßnahme, um Emissionen von klimarelevanten Gasen während der Flüssigmistlagerung zu vermindern. Eine feste Behälterabdeckung reduzierte CH<sub>4</sub>- und NH<sub>3</sub>-Emissionen. NH<sub>3</sub>-Emissionen aus nicht abgedecktem, vergorenem Flüssigmist waren hoch. Eine Abdeckung mit Stroh verminderte NH<sub>3</sub>-Emissionen weniger stark als eine feste Behälterabdeckung und hat das Potential, klimarelevante Emissionen zu erhöhen. Flüssigmistlagerbehälter sollten mit einer festen Abdeckung ausgestattet sein, insbesondere dann, wenn der Flüssigmist in einer Biogasanlage anaerob vergoren wurde.

## 1 Introduction

Slurry stores are a significant source of ammonia, methane and nitrous oxide. Some countries require that the surface of the store is covered as a measure to reduce ammonia volatilisation. Stored slurry may form a natural surface crust if the dry matter content is high enough. Alternatively, an artificial crust may be established using materials such as straw or leca pebbles (SOMMER & HUTCHINGS 1995). Slurry contains considerable amounts of easily degradable carbon that serves as nutrient source to microbes. During slurry storage, a continuous degradation of organic matter can be observed (AMON et al. 1995). As conditions in the slurry are anaerobic, degradation of organic matter must always occur with anaerobic pathways. This means, that  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  are formed as end products of the degradation process. It is thus to be assumed that high dry matter slurry bears a greater risk for  $\text{CH}_4$  emissions.

Some studies have observed that the presence of a surface crust may reduce methane emissions (HUSTED 1994, SOMMER et al. 2000), indicating that methane is consumed within the crust environment. A surface crust is a heterogeneous environment at the interface between the anaerobic slurry phase and the atmosphere.

Anaerobic digestion of animal manures is mainly implemented for energy production reasons. Improvement of manure quality and potential reductions of methane emissions are "by-products" of anaerobic digestion. Biogas production from animal manures aims at maximising methane yield. Methane produced in an agricultural biogas plant is not emitted into the atmosphere, but is collected and transformed to electricity and heat in a combined heat and power coupling.

Nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) formation via both nitrification and denitrification is stimulated under conditions of oxygen limitation, and the potential for nitrous oxide formation must therefore also be considered. SOMMER et al. (2000) measured emissions of up to  $25 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , while JUNGBLUTH et al. (2001) quoted field and laboratory results ranging from 0.2 to  $5.4 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . SOMMER et al. (2000) found that  $\text{N}_2\text{O}$  emissions increased during periods where the surface crust dried out and speculated that convective transport of  $\text{NH}_4^+$  up through the crust layer would stimulate nitrification activity.

The experiments aimed at identifying the effect of different levels of covering slurry stores on ammonia and greenhouse gas emissions from untreated and anaerobically digested slurry. They were carried out in the frame of the EU project "Greenhouse Gas Mitigation for Organic and Conventional Dairy Production (MIDAIR)".

## 2 Materials and Methods

Slurry was stored in five  $10 \text{ m}^3$ -pilot scale slurry tanks. The tanks were made from concrete and buried in the ground, with 5 cm of the wall above the soil surface (Fig. 1). Emissions of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{CH}_4$  were quantified by moving a large open dynamic chamber on a slurry tank and collecting the emissions. Emissions of each variant were measured at least twice a week for several hours.

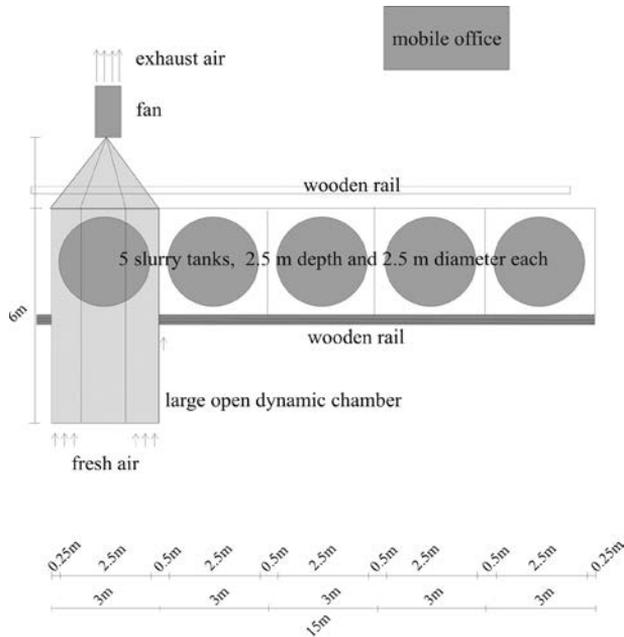


Fig. 1: Design of the experimental facility for quantifying emissions from slurry stores (AMON et al. 2002)

For the determination of the air flow over stored manure a large open dynamic chamber was used. The mobile chamber covers an area of 27 m<sup>2</sup> and can be built over emitting surfaces in the animal housing, on manure stores and over spread manure. Fresh air enters the chamber at the front. In the chamber the fresh air accumulates the emissions and leaves the chamber on the far side. Gas concentrations are measured alternately in the incoming and in the outgoing air. The air flow is recorded continuously by a fan-based flow meter (AMON et al. 1996).

NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> concentrations were quantified by FTIR spectroscopy, which is a reliable possibility for continuous online detection of gaseous emissions in the field. The applied FTIR spectroscope has a spectral resolution of 0.25 cm<sup>-1</sup>. It is operated with a white cell with 8 m light path. The detection limit is 0.5 ppm for ammonia and ambient air level for carbon dioxide, methane, and nitrous oxide. Slurry temperature was continuously measured at two heights in each slurry tank. Samples for the analysis of slurry composition were taken at weekly intervals in the first few weeks of storage and biweekly during the rest of the storage. Slurry samples were analysed for dry matter, ash, pH, NH<sub>4</sub>-N, total nitrogen, and total carbon.

Emissions were followed from storage of untreated slurry with and without a wooden cover and from anaerobically digested slurry without any cover, with a layer of chopped straw and with a layer of chopped straw and a wooden cover. Experiments were carried out under cold winter and under warm summer conditions to cover the year-round range in temperatures. The winter and summer storage lasted for 100 and 140 days, respectively.

Dairy cattle slurry was received from two typical Austrian dairy farms. Farm 1 is situated in Lower Austria, in an pre-alpine region. 33 dairy cows are held in a slurry based loose house. Milk yield is 8,600 kg per cow and year with 4.0 % fat and 3.56 % protein. The dairy cows' diet consists of mainly of maize silage, grass silage and hay. In addition, concentrate is fed via a transponder system. Farm 2 supplied anaerobically digested dairy cattle slurry to the

experiments. It is a typical Austrian farm similar to farm 1. Dairy cattle slurry is anaerobically digested in a fully mixed, continuously stirred concrete digester without addition of other organic substrates. The digester is operated at a mesophile fermentation temperature.

Statistical data analysis was carried out with the software package SPSS, version 10.0. Regression curves were fitted to cumulative emissions. Differences in regression equations were tested with a pairwise comparison of regression parameters by the t-test. Level of significance was set to at least 0.05.

### 3 Results and Discussion

Table 1 summarises cumulated  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , and greenhouse gas emissions from untreated and anaerobically digested slurry with different levels of covering. Greenhouse gas emissions are given as  $\text{CO}_2$  equivalents. Net total  $\text{CO}_2$  eq. result from the addition of methane emissions \* 21 and nitrous oxide emissions \* 310 (IPCC 1996).

In the winter experiments, a linear increase in cumulated  $\text{CH}_4$  emissions was observed in all treatments throughout the storage period (data not shown).  $\text{CH}_4$  emissions from digested slurry were significantly lower than from untreated slurry. No significant difference was observed between  $\text{CH}_4$  emissions from digested slurry with or without a straw cover on the slurry surface. A wooden cover significantly reduced  $\text{CH}_4$  emissions in both untreated and digested slurry. Cumulated  $\text{NH}_3$  emissions increased linearly throughout the storage period. Covering the tank with a wooden lid decreased ammonia emissions from untreated slurry. A layer of chopped straw on the surface of digested slurry significantly reduced  $\text{NH}_3$  emissions. A wooden cover had no additional mitigation effect. Cumulated nitrous oxide emissions steadily increased during the 100-day-measurement period with only little differences between treatments. Total GHG emissions were highest from untreated, uncovered slurry. A wooden cover considerably reduced GHG emissions. Digested slurry emitted less GHG than uncovered untreated slurry. The combination of chopped straw and wooden lid reduced GHG emissions of digested slurry.

Tab. 1: Cumulated  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , and greenhouse gas emissions measured in the winter and in the summer experiment

Treatment	winter experiment				summer experiment			
	$\text{CH}_4$	$\text{NH}_3$	$\text{N}_2\text{O}$	GHG <sup>a</sup> [kg $\text{CO}_2$ eq. $\text{m}^{-3}$ ]	$\text{CH}_4$	$\text{NH}_3$	$\text{N}_2\text{O}$	GHG <sup>a</sup> [kg $\text{CO}_2$ eq. $\text{m}^{-3}$ ]
	[g $\text{m}^{-3}$ ]				[g $\text{m}^{-3}$ ]			
untreated_crust	164.3	72.5	44.0	17.09	3591.2	110.5	48.7	90.51
untreated_cover	142.0	52.2	38.2	14.82	2999.0	60.0	58.6	81.15
biogas	111.3	62.0	40.1	14.77	1154.2	222.5	72.4	46.68
biogas_straw	114.5	49.6	39.9	14.77	1191.9	125.7	75.7	48.50
biogas_straw_cover	81.1	48.7	40.7	14.32	1021.4	78.1	61.4	40.48

<sup>a</sup> GHG = greenhouse gas emissions

Under warm summer conditions, considerably more methane was emitted than under cold winter conditions. Cumulated  $\text{CH}_4$  emissions followed a quadratic curve and declined towards the end of the measurement period (data not shown). Untreated slurry emitted significantly more  $\text{CH}_4$  than digested slurry. Similar to winter conditions, a wooden lid reduced  $\text{CH}_4$  emissions of untreated slurry. After digestion,  $\text{CH}_4$  emissions from uncovered or straw covered slurry were similar, whereas they were reduced by an additional wooden lid. In summer, uncovered digested slurry showed the highest ammonia emissions. They were reduced by a layer of chopped straw and, further more, by a layer of chopped straw and a wooden lid. Cumulated nitrous oxide emissions showed a linear increase throughout the measurement period. Covering untreated slurry with a wooden lid increased  $\text{N}_2\text{O}$  emissions whereas the combination of chopped straw and a wooden lid decreased  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from digested slurry. Total GHG emissions from untreated slurry were nearly twice as high as from digested slurry. A wooden cover reduced GHG emissions for both substrates. As in winter, a layer of chopped straw alone did not mitigate GHG emissions from digested slurry.

## 4 Conclusions

Anaerobic digestion was found to be an effective mitigation option for greenhouse gas emissions from slurry stores. A wooden lid placed on the slurry tank reduced  $\text{CH}_4$  and  $\text{NH}_3$  emissions, whereas  $\text{NH}_3$  emissions from uncovered anaerobically digested slurry were high due to the high  $\text{NH}_4\text{-N}$  content and pH value. A layer of chopped straw was less effective in reducing  $\text{NH}_3$  emissions and has the potential to increase greenhouse gas emissions.

It is recommended that slurry tanks, and particularly those used for storage of slurry treated in biogas plants, are equipped with a solid cover. This will reduce  $\text{CH}_4$  release into the atmosphere, as well as  $\text{NH}_3$  emissions. Full environmental benefits of anaerobic digestion can only be exploited, if all tanks are covered and included in the gas bearing system of the biogas plant.

## 5 References

- AMON, B.; AMON, T.; BOXBERGER, J.; PÖLLINGER, A.; ZAUSSINGER, A. (1996). Entwicklung einer Messeinrichtung zur Erfassung umweltrelevanter Gasemissionen. *Die Bodenkultur*, 47 (4). 247–253.
- AMON, B.; MOITZI, G.; SCHIMPL, M.; KRYVORUCHKO, V.; WAGNER-ALT, C. (2002). Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Management of Liquid Manures, Final Report 2002. On behalf of „Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environmental and Water Management“ and „Federal Ministry of Education, Science and Culture“ Research project no. 1107.
- AMON, T.; BOXBERGER, J.; GRONAUER, A.; NESER, S. (1995). Einflüsse auf das Entmischungsverhalten, Abbauvorgänge und Stickstoffverluste von Flüssigmist während der Lagerung. In: *Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Beiträge zur 2. Internationalen Tagung 14./15. März 1995 in Potsdam-Bornim*; Institut für Agrartechnik Bornim, MEG, KTBL, AEL (eds.), pp. 91–98.
- HUSTED, S. (1994). Seasonal variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *Journal of Environmental Quality* 23, 585–592.

IPCC (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. In: Intergovernmental Panel on Climate Change; J. T. HOUGHTON, L. G. MEIRA FILHO, B. A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG, and K. MASKELL, (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

JUNGBLUTH, T.; HARTUNG, E.; BROSE G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 133–145.

SOMMER, S. G.; HUTCHINGS, N. J. (1995). Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. *Wat. Air Soil Pollut.* 85: 237–248.

SOMMER, S. G.; PETERSEN, S. O.; SØGAARD, H. T. (2000). Emission of greenhouse gases from stored cattle slurry and slurry fermented at a biogas plant. *Journal of Environmental Quality* 29, 744–751.

### **Acknowledgements**

The work was funded by the EU (EVK2-CT-2000-00096 MIDAIR).

## Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs *Ammoniak und klimarelevante Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine*

BARBARA AMON<sup>1</sup>, ALFRED PÖLLINGER<sup>2</sup>, VITALIY KRYVORUCHKO<sup>1</sup>, MARTINA FRÖHLICH<sup>1</sup>,  
IRENE MÖSENBACHER<sup>2</sup>, ANTON HAUSLEITNER<sup>2</sup>, THOMAS AMON<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien

<sup>2</sup> Federal Research Institute for Agriculture in Alpine Regions, Altding 11, A-8952 Irnding

**Keywords:** Animal welfare, Environmental protection, ammonia, methane, nitrous oxide  
**Schlüsselwörter:** Tiergerechtigkeit, Umweltschutz, Ammoniak, Methan, Lachgas

### Summary

The straw flow system is an animal friendly housing system for fattening pigs. The pen is separated into a lying area and an excretion area. In the lying area, straw is used. The pigs keep the lying area dry and clean and excrete on slats in the rear of the pen. The system can be operated economically efficient on commercial farms. It was to be investigated, if this animal friendly housing system emitted less  $\text{NH}_3$  and GHG than a conventional fully or partly slatted system. Emissions of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , and  $\text{CH}_4$  were measured at a commercial farm for 10 months. Gas concentrations were measured with high resolution FTIR spectrometry. Ventilation rate was recorded in the central exhaust fan. Measurements covered all seasons and all stages of fattening. Emissions from the straw flow system were always lower than default values for fully slatted floor systems.

### Zusammenfassung

Der Schrägbodenstall für Mastschweine ist ein tiergerechtes Haltungssystem. Die Mastabteile sind in einen Liege- und in einen Kotbereich unterteilt. Im Liegebereich wird Stroh als Einstreu und Beschäftigungsmaterial verwendet. Die Schweine halten den Liegebereich trocken und sauber und koten und harnen auf dem Spaltenboden im hinteren Bereich der Bucht. Der Schrägbodenstall ist ein praxisreifes System, das wirtschaftlich betrieben werden kann. Das hier vorgestellte Forschungsprojekt widmete sich der Frage, welche Mengen an  $\text{NH}_3$  und klimarelevanten Gasen aus einem Schrägbodenstall freigesetzt werden. Emissionen von  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$  wurden auf einem praktischen Betrieb 10 Monate lang kontinuierlich gemessen. Die Gaskonzentrationen wurden mit einem hochauflösenden FTIR-Spektrometer gemessen. Die Lüftrate wurde kontinuierlich in den zentralen Abluftkaminen aufgezeichnet. Die Emissionsmessungen umfassten alle Jahreszeiten und mehrere vollständige Mastperioden. Die  $\text{NH}_3$ -,  $\text{N}_2\text{O}$ - und  $\text{CH}_4$ -Emissionen aus dem Schrägbodenstall waren geringer als Standardwerte, die für Vollspaltenbodenställe angegeben werden.

## 1 Introduction

Animal welfare and environmental protection are increasingly important. Housing systems must be found that offer animal welfare and emit little ammonia and greenhouse gases. Often, a contradiction is seen between animal welfare and environmental protection.

Emissions from slurry based pig houses have intensively been researched. Data on emissions from straw based houses are limited. The "Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia" developed by the UN/ECE "Expert Group on Ammonia Abatement" of the "Executive Body for the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution" distinguishes 10 slurry based housing systems for pigs and assigns specific emission factors. Straw based systems are not differentiated, but given one single ammonia emission factor that is equal to the highest emission factor from the slurry based systems. DÖHLER et al. (2002) mention the deep litter and the Danish system as straw based systems in pig husbandry. According to DÖHLER et al. (2002),  $\text{NH}_3$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from deep litter systems are higher than from fully slatted floors. The Danish system leads to an increase in  $\text{NH}_3$  emissions. The authors point to the considerable uncertainty of these emission factors and to the very limited data availability.

More research is needed into straw based systems for pigs. Mitigation options for  $\text{NH}_3$ , and GHG must be proposed. The straw flow system is an animal friendly housing system (BARTUSSEK et al. 1995, ZALUDIK 1997). It was to be investigated, if it emitted less ammonia and greenhouse gases than a conventional fully or partly slatted system.

## 2 The straw flow system

An animal friendly system for pigs must provide straw or other materials where pigs can show exploratory behaviour (WECHSLER 1997). It is important to renew the material daily or every second day (AMON et al. 2001). The normal behaviour of pigs is to separate a lying and an excretion area (STOLBA 1983). Animal friendly systems must thus at least be separated into two functional areas. Pigs spend a considerable part of the day with resting and lying (ZERBONI & GRAUVOGL 1984). They prefer non-perforated, soft lying areas (SAMBRAUS 1991).

The Straw-Flow-Welfare-System was developed in Scotland (BRUCE 1990). The Federal Agricultural Research Centre Braunschweig/Germany started to investigate this system in 1988 (GEBBE 1991). In 1990, the Federal Research Institute for Agriculture in Alpine Regions/Austria further improved the system and developed the "Straw Flow System Gumpenstein" (BARTUSSEK et al. 1995, Fig. 1). The pen is separated into a lying area and an excretion area. In the lying area, straw is used. The pigs keep the lying area dry and clean and excrete on elevated slats in the rear of the pen. Pigs are likely to suffer from thermal stress on warm days. They may then excrete on the lying area and lie on the excretion area. To avoid this, sprinklers are installed above the slats of the excretion area. They are automatically activated at intervals.

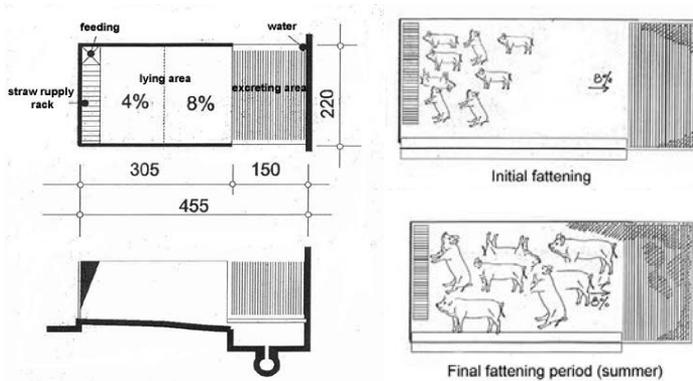


Fig. 1: Design of the straw flow system for fattening pigs (left side) and distribution of lying pigs at the beginning and towards the end of the fattening period (right side) (BARTUSSEK 1993)

The concrete lying area has an inclination of 4–10 % and is surrounded by opaque walls. Feed is supplied at the front of the pen. All pigs can eat at the same time, which is an important factor for animal welfare.

50–100 g non chopped straw per pig and day are provided in the rack at the front of the pen. The pigs take the straw from the rack, play with it, chew it and thus transport it slowly to the rear of the pen where it falls in the gut under the slats. As only a small amount of straw is used, it is still possible to produce slurry. Work requirement for straw supply is c. 7 min per produced pig (BARTUSSEK & GEISPERGER 1998). The straw supply can ideally be used to control the pigs' condition.

A straw flow pen offers 1–1.3 m<sup>2</sup> per pig. This is more than 40 % more than in conventional fully slatted floor systems. Investment costs are not higher than in conventional fully slatted floor systems (BARTUSSEK & GEISPERGER 1998). The straw flow system can be operated economically efficient on commercial farms.

### 3 Approach

Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> were measured at a commercial farm. The animal house consisted of three fully separated compartments. Each compartment was forced ventilated by a central exhaust fan. The compartments were separated into 16 pens that held 10–12 pigs. Two compartments were established with an automatic daily manure removal system. One compartment had a dung channel.

Concentrations of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> were measured with high resolution FTIR spectrometry. Ventilation rate was continuously recorded in each central exhaust fan. Measurements were carried out continuously 24 hours a day. The measurement period lasted from 2003-07-01 to 2004-04-20. It covered all seasons: hot – mild – cold, and all stages of fattening.

After the emission measurements from the animal house were finished, pig slurry was stored in 10 m<sup>3</sup> pilot scale slurry tanks. Emissions were measured with a large open dynamic

chamber. Influence of different levels of covering, and of slurry additives was investigated. These experiments are still ongoing and results are not yet available.

## 4 Results

Table 1 gives preliminary results on emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, and net total greenhouse gases per pig and year. The estimations are based on the following assumptions: a pig corresponds to 0.12 LU (Livestock Units), one year covers 2.5 fattening periods (DÖHLER et al. 2002, UBA 2001). Further detailed data analysis will be carried out in the next weeks.

Tab. 1: Preliminary results on CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and net total greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs and default emissions for fully slatted floors

	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	GHG
	emission [kg (hd * yr) <sup>-1</sup> ]			[kg CO <sub>2</sub> eq.(hd * yr) <sup>-1</sup> ]
default value	4.00	3.00	100.00	115.0
dung channel	1.57	2.16	61.95	52.3
daily manure removal	0.69	2.20	51.02	30.4

Emissions are differentiated in the dung channel system and in the daily manure removal system. For comparison reason, current default values for fully slatted floor systems are given, as well.

Forced ventilated fully slatted floor systems for fattening pigs are currently estimated to emit 4 kg CH<sub>4</sub> per pig and year (UBA 2001). CH<sub>4</sub> emissions from the straw flow system were considerably lower than this default value. A likely reason lies in the reduced amount of slurry that is stored inside the warm animal house compared to a fully slatted floor system with slurry storage underneath the slats. CH<sub>4</sub> emissions are highly temperature dependent and warm temperatures inside the animal house give rise to higher CH<sub>4</sub> emissions. The dung channel system showed higher CH<sub>4</sub> emissions than the daily manure removal system due to the greater amount of slurry inside the pig house.

DÖHLER et al. (2002) and UBA (2001) give a default emission factor for fully slatted floors of 3 kg NH<sub>3</sub> per pig and year. NH<sub>3</sub> emissions from the straw flow system were 2.16 (dung channel) and 2.20 (daily manure removal) kg NH<sub>3</sub> per pig and year. In a straw flow system, only about one third of the pen is covered with excreta. The pigs keep the lying area dry and clean. This reduces NH<sub>3</sub> emissions from the animal house.

N<sub>2</sub>O emissions from a fully slatted floor system are estimated to be about 100 g N<sub>2</sub>O per pig and year. Due to the very limited data on N<sub>2</sub>O emissions, this default value comprises a considerable range of uncertainty. N<sub>2</sub>O emissions may vary between 20 and 310 g N<sub>2</sub>O per pig and year (UBA 2001). From the straw flow system, N<sub>2</sub>O emissions of 61.95 (dung channel) and 51.02 (daily manure removal) g N<sub>2</sub>O per pig and year were measured. As with CH<sub>4</sub> emissions, N<sub>2</sub>O release was higher from the dung channel system. N<sub>2</sub>O emissions depend on the amount of slurry in the animal house. Through daily manure removal, N<sub>2</sub>O emissions could be reduced.

Emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O were converted to CO<sub>2</sub> equivalent emissions and are expressed as net total greenhouse gas emissions in table 1. The global warming potential (GWP) of CH<sub>4</sub> is 21 times the GWP of CO<sub>2</sub>. N<sub>2</sub>O emissions were multiplied with a GWP of 310 to receive CO<sub>2</sub> equivalents (IPCC 1996). Default GHG emissions for fully slatted floors are considerably higher than from the straw flow system. Through daily manure removal, GHG emissions from a straw flow system can further be reduced.

## 5 Conclusions

The straw flow system for fattening pigs is an animal friendly system that can be operated economically efficient on commercial farms. Emissions of CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and greenhouse gases are lower than default values for forced ventilated fully slatted floor systems.

## 6 References

- AMON, T.; JERICIC, D.; GALLOB, M.; AMON, B.; BOXBERGER, J.; SÖLKNER, J.; KONRAD, S.; MEIXNER O. (2001). Schweinefleischerzeugung im Stolba-Familienstall: Ermittlung von Kennzahlen von der Erzeugung bis zur Vermarktung und Optimierung des Systems, Endbericht zum Forschungsprojekt, Universität für Bodenkultur, Wien.
- BARTUSSEK, H. (1993). Vollspaltenböden oder Tieflaufstall bei Mastschweinen? – Weder – noch! Der fortschrittliche Landwirt, 1993, 8, S. 18–19 und 1993, 9, S. 18–19.
- BARTUSSEK, H.; HAUSLEITNER, A.; SCHAUER, A.; STEINWIDDER, R.; UBBELOHDE, J. (1995). Schrägbodenbuchten für Mastschweine. Veröffentlichungen der BAL Gumpenstein, Heft 23, Irdning, 1995.
- BARTUSSEK, H.; GEISBERGER, W. (1998). Schweine auf der schiefen Bahn: Schrägbodenbuchten für Mastschweine bewähren sich. DLZ-Agrobonus, 1998, 3, S. 16–21.
- BRUCE, J. M. (1990). Straw-Flow welfare systems for pigs. Farm Building Progress, 100, 6–7.
- DÖHLER, H.; DÄMMGEN, U.; BERG, W.; BERGSCHMIDT, A.; BRUNSCH, R.; EURICH-MENDEN, B.; LÜTTICH, M.; OSTERBURG, B. (2002). Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010. Final Report for Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft and Umweltbundesamt, UBA-Texte 05/02.
- GEBBE, N. (1991). Schweinemast auf 10 % Gefälle. DLG-Mitteilung/ agrar-inform, 8/1991, 54–56.
- IPCC (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. In: Intergovernmental Panel on Climate Change; J. T. HOUGHTON, L. G. MEIRA FILHO, B. A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG, and K. MASKELL, (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- SAMBRAUS, H. H. (1991). Nutztierkunde. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- STOLBA, A. (1983). Verhaltensmuster von Hausschweinen in einem Freigehege. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 1983. KTBL-Schrift 299, Landwirtschaftsverlag GmbH., Münster-Hiltrup.
- UMWELTBUNDESAMT DER BRD (2001). Entwurf: Erstellung eines Gutachtens für einen deutschen Beitrag zur Vollzugsvorbereitung zum Umsetzung der IVU-Richtlinie für den Bereich Intensivtierhaltung, UBA Vorhaben FKZ 360 08 001, Stand November 2001, KTBL Darmstadt, Umweltbundesamt Berlin; In: UBA-Text 75/02 „Beste verfügbare Techniken in der Intensivtierhaltung“.

WECHSLER, B. (1997). Schwein. In: Sambras, H. H. and Steiger, A. (Hrsg.). Das Buch vom Tierschutz. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, S. 173–185.

ZERBONI, H. N.; GRAUVOGL, A. (1984). Schwein. In BOGNER, H. and GRAUVOGL, A. (Hrsg): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Ulmer, Stuttgart.

ZALUDIK, K. (1997). Untersuchungen zum Schrägbodensystem für Mastschweine. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

### **Acknowledgements**

The work was funded by the Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management.

## Vergleich unterschiedlicher Maßnahmen zur Verminderung von Emissionen während der Güllelagerung *Comparison of different Measures for the Reduction of Emissions during Slurry Storage*

WERNER BERG, REINER BRUNSCH

Institut für Agrartechnik Bornim, Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam

**Schlüsselwörter:** Emissionsminderung, Güllelagerung

**Keywords:** Emission reduction, slurry storage

### **Zusammenfassung**

Gasförmige Emissionen von Güllelagern lassen sich durch Abdeckungen vermindern. Herkömmliche Abdeckmaterialien, wie Stroh und Granulate, reduzieren die Geruchs- und Ammoniakemissionen sehr gut, sie können aber zu erhöhten Methan- und/oder Distickstoffmonoxidemissionen führen.

Aus vorhergehenden Untersuchungen zur Kombination von Abdeckung und Absenkung des pH-Wertes der Gülle ist bekannt, dass es möglich ist, auch die Freisetzungen der klimarelevanten Gase zu verringern.

Es werden Ergebnisse experimenteller Untersuchungen im Labormaßstab (65 l Schweinegülle je Lagerbehälter) über einen Zeitraum von 162 Tagen an folgenden Abdeckmaterialien vorgestellt: Häckselstroh, Perlit und gebrannte Tonaggregate – in gebräuchlichem/handelsüblichem Zustand, und kombiniert mit Milchsäure oder Saccharose.

Die Kombination der Abdeckmaterialien mit pH-Wert senkenden Substanzen kann die Emissionen sowohl von Ammoniak als auch von Distickstoffmonoxid und Methan wirksam vermindern.

### **Summary**

Covering slurry storage facilities can reduce gaseous emissions. Common cover materials, e. g. straw and granule layers, reduce odour and ammonia emissions very good, but they can lead to higher methane and nitrous oxide emissions.

Previous investigations on combining covering and acidifying slurry showed the possibility to reduce not only ammonia but also greenhouse gas emissions.

Results are reported from experimental investigations of different materials for covering slurry storage facilities. The cover materials investigated on lab scale (65 l pig slurry per storage container) over a period of 162 days are: perlite, lightweight expanded clay aggregate (exclay) and chopped straw – used as in common practice and combined with lactic acid or saccharose, respectively.

Combining cover materials with substances lowering the pH-value of the slurry can reduce ammonia as well as nitrous oxide and methane emissions effectively.

## 1 Einleitung

Die von Güllelagern ausgehenden Emissionen lassen sich durch künstliche Schwimmdecken aus Stroh, Granulaten oder Schwimmfolien, oder aber feste Abdeckungen aus Kunststoff, Beton oder Holz vermindern. Mit diesen Maßnahmen erreicht man gute bis sehr gute Reduktionen der Geruchs- und Ammoniakfreisetzungen. Diese Abdeckungen können aber zu erhöhten Methan- und/oder Distickstoffmonoxidemissionen führen (BERG, 2003; BERG et al., 2003; CLEMENS et al., 2003; AMON et al., 2004).

Untersuchungen zur Kombination von Abdeckung und Absenkung des pH-Wertes der Gülle zeigen, dass es möglich ist, auch die Freisetzungen der klimarelevanten Gase zu verringern (BERG et al., 2004).

## 2 Material und Methoden

Die experimentellen Untersuchungen erfolgten im Labormaßstab an Lagerbehältern mit jeweils 65 l Schweinegülle. Der Trockenmassegehalt der Gülle betrug 6,7 %.

Die Untersuchungen erstreckten sich über einen Zeitraum von 162 Tagen. Die offenen Lagerbehälter wurden nur während der Gasmessung verschlossen und definiert belüftet (dynamische Messkammer). Folgende Parameter wurden bestimmt:

- Trockenmasse-, Ammonium- und Gesamtstickstoffgehalt der Gülle zu Beginn und am Ende der Lagerung,
- Temperatur im Labor (= Gülletemperatur),
- pH-Wert der Gülle,
- Konzentration der Gase Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), Distickstoffmonoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Methan ( $\text{CH}_4$ ) in der Abluft aus den Lagerbehältern,
- Geruchsschwelle der Abluft aus den Lagerbehältern,
- Sedimentationsverhalten der Gülle.

Drei verschiedene Abdeckmaterialien waren Gegenstand der Untersuchungen:

- Häckselstroh,
- Perlit und
- gebrannte Tonaggregate.

Jedes der drei Abdeckmaterialien fand wiederum in drei unterschiedlichen Zuständen Anwendung:

- in gebräuchlichem Zustand, d. h. ohne Zusätze,
- in Kombination mit Milchsäure und
- in Kombination mit Saccharose.

Diese neun Varianten wurden vergleichend untersucht mit einer Kontrollvariante – der nicht abgedeckten und unbehandelten Gülle.

Das Zusetzen der Milchsäure oder der Saccharose zu den Abdeckmaterialien erfolgte generell vor dem Aufbringen auf die Gülle. Alle Materialien erhielten einen Zusatz von 200 ml 80 %-iger Milchsäure bzw. 120 g Saccharose je Liter Abdeckmaterial. Die Granulate wurden danach hydrophobiert, das Stroh nicht.

Die Schichtdicken der Abdeckungen betragen 6 cm bei den Granulaten, und 8 cm bei den Strohvarianten.

Die Saccharosevarianten wurden nach 62, die reine Strohvariante nach 112 Tagen homogenisiert. Letztgenannte erhielt außerdem nach 146 Tagen 20 mm Wasser, um die Wirkung von Niederschlag zu simulieren.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Verlauf der pH-Werte und der Temperatur

Die pH-Werte der Kontrolle und der Varianten mit den unbehandelten Granulaten sanken nach der Gülleeinlagerung zunächst aufgrund biologischer Aktivitäten auf Werte von bis zu 6,5 ab. In Abbildung 1 ist dies am Beispiel der Kontroll- und Perlitvariante zu sehen. Diese Vorgänge liefen vor allem im Sediment ab, so dass der pH-Wert dort etwas geringer war als an der Gülleoberfläche. Nach ca. 2 Wochen ließen diese Aktivitäten nach und der pH-Wert stieg allmählich auf Werte zwischen 7,0 und 7,5 an. Bei der Abdeckung mit unbehandeltem Häckselstroh traten diese Vorgänge nur sehr abgeschwächt auf, die pH-Werte bewegten sich dort während des gesamten Untersuchungszeitraums um Werte von 7,5.

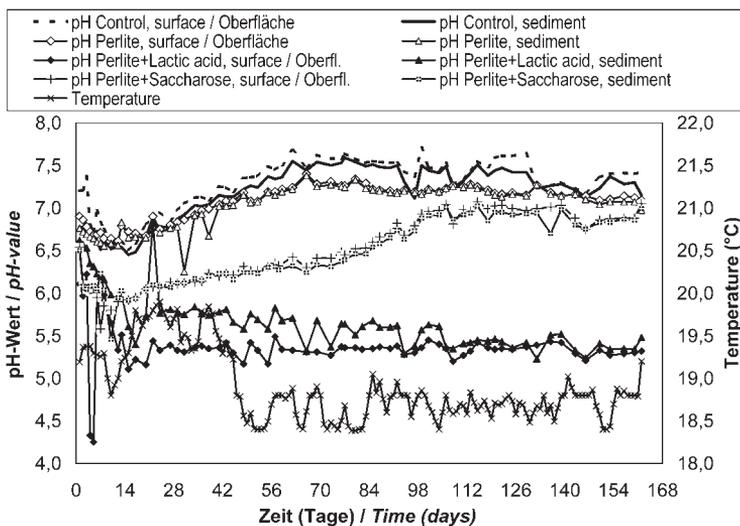


Abb. 1: Verlauf der pH-Werte und der Temperatur der Kontrolle und der Perlitvarianten  
 Courses of the pH-values and the Temperatures of the Perlite covered Slurry Samples

Bei der Kombination des Perlits mit Milchsäure ging ein Großteil der Säure innerhalb der ersten 2 Wochen in Lösung, so dass die pH-Werte in dieser Zeit auf etwa 5,3 an der Gülleoberfläche und auf ca. 5,7 im Sediment absanken. Die Werte nahe der Gülleoberfläche waren im weiteren Verlauf der Untersuchungen relativ konstant, die pH-Werte im Sediment verringerten sich auf ungefähr 5,4.

Die untersuchten Kombinationen von Abdeckmaterialien mit Saccharose führten zu geringeren und weniger anhaltenden Absenkungen der pH-Werte als die Kombinationen mit

Milchsäure. Die pH-Werte sanken innerhalb von 2 bis 3 Wochen unter 6, vor allem bei den Tonaggregaten und Stroh, stiegen dann aber wieder allmählich auf bis zu 7 an.

Die kontinuierlich gemessene Temperatur im Laborraum zeigte einen relativ ausgeglichenen Verlauf (Abb. 1). Deshalb kann man davon ausgehen, dass Raum- und Gülletemperaturen während der Untersuchungen sehr gut übereingestimmt haben und das Emissionsgeschehen praktisch nicht beeinflusst haben.

### 3.2 Ammoniakemissionen

Die Untersuchungen bestätigten die sehr guten Minderungseffekte der gebräuchlichen Abdeckmaterialien bezüglich Ammoniak, und dies obwohl die Schichtdicken hier nur 6 und nicht, wie für die Praxis empfohlen, 10 cm betragen (Tab. 1). Die Minderungsrate der Perlitabdeckung änderte sich durch den Zusatz von Milchsäure kaum. Die Kombination von Stroh mit Saccharose minderte die NH<sub>3</sub>-Emissionen etwas, die anderen untersuchten Saccharosekombinationen deutlich schlechter als die Abdeckmaterialien ohne Zusatz. Lediglich die Kombination von Stroh mit Milchsäure zeigte eine verbesserte Wirkung.

Tab. 1: Emissionen der untersuchten Abdeckvarianten in Bezug zur Kontrolle (Kontrolle = 100 %)   
 *Emissions of the Covers investigated related to the Control Sample (Control = 100 %)*

Relative Emission (%)	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
Kontrolle / Control	100	100	100
Stroh / Straw	25	570	120
Stroh + Milchsäure / Straw + Lactic Acid	14	70*	30
Stroh + Saccharose / Straw + Saccharose	30	400	170
Perlit / Perlite	10	380	100
Perlit + Milchsäure / Perlite + Lactic Acid	13	20*	60
Perlit + Saccharose / Perlite + Saccharose	60	70	90
Gebrannte Tonaggregate / Exclay	17	360	100
Gebrannte Tonaggregate + Milchsäure	41	10*	20
Gebrannte Tonaggregate + Saccharose	58	10*	90

\* Die gemessenen Konzentrationen lagen im Bereich der Hintergrundkonzentration.

\* *The measured concentrations were in the range of the background concentration.*

### 3.3 Distickstoffmonoxidemissionen

Nennenswerte Freisetzungen von Distickstoffmonoxid waren an sechs der zehn untersuchten Varianten zu verzeichnen (Tab. 1). Die Konzentrationen über den anderen vier Varianten (Stroh + Milchsäure, Perlit + Milchsäure, gebrannte Tonaggregate + Milchsäure, gebrannte Tonaggregate + Saccharose) lagen im Bereich der Hintergrundkonzentration in der Zuluft.

Die festgestellten Emissionen gingen einher mit Verkrustungen der Oberflächen. Die Strohabdeckungen in Kombination mit Saccharose und ohne Zusatz wiesen die stärksten Verkrustungen auf, gefolgt von der Perlitabdeckung ohne Zusatz. Das Perlit begann bereits nach etwa 2 Wochen zu verkrusten. Bei der Abdeckung aus gebrannten Tonaggregaten war dies zwar erst nach 16 Wochen zu beobachten, dennoch traten bereits nach 4 Wochen  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen auf. Die Strohabdeckung ohne Zusatz verkrustete nach 8 bis 9 Wochen. Die Kombinationen aus Stroh bzw. Perlit mit Saccharose verkrusteten erst nach 10 bis 12 bzw. 14 bis 16 Wochen. Aufgrund des kurzen Zeitraumes und des geringen Ausmaßes blieb die Emission der letztgenannten Variante unter der der Kontrolle, obwohl die Oberfläche der Kontrolle nur über einen Zeitraum von 9 Wochen und nur teilweise eine Verkrustung aufwies.

Auch wenn die  $\text{N}_2\text{O}$ -Freisetzungen bei den Kombinationen von Perlit mit Saccharose und von Stroh mit Milchsäure in der Summe ähnliche Werte aufwiesen, lagen die Konzentrationen über letztgenannter Variante nur im Bereich der Hintergrundkonzentration.

### 3.4 Methanemissionen

Die Methanemissionen der einzelnen Varianten schwankten im Untersuchungszeitraum z. T. erheblich. Die herkömmlichen Abdeckungen, ohne Zusätze, verminderten die  $\text{CH}_4$ -Freisetzungen nicht (Tab. 1). Stroh und vor allem die Kombination von Stroh mit Saccharose verstärkten die Emissionen sogar. Die Kombinationen der Granulate mit Saccharose verringerten die Methanfreisetzungen um 10 bis 20 %. Die besten Minderungsgrade zeigten die Kombinationen mit Milchsäure.

### 3.5 Geruchsemissionen

Die olfaktometrisch bestimmten Geruchsschwellen der Abluft aus den Lagerbehältern variierten im Verlauf der Untersuchungen sehr stark. Eine signifikante Minderung der Geruchsemissionen ließ sich an keiner der untersuchten Varianten nachweisen.

## 4 Schlussfolgerungen

Die untersuchten Abdeckungen für Güllelager haben recht unterschiedliche Auswirkungen auf die von den Lagerbehältern ausgehenden Emissionen. Es ist davon auszugehen, dass bei praxisüblichen Schichtdicken von 10 cm (Granulate) und mehr (Stroh) die anhand der vorgestellten Untersuchungen (Schichtdicken der Granulate 6 cm, die von Stroh 8 cm) festgestellten Wirkungen verstärkt zum Tragen kommen. Das bedeutet für die untersuchten Materialien Minderungsraten bezüglich Ammoniak, die mit anderen, aus der Literatur bekannten Ergebnissen vergleichbar sind.

Bei den klimarelevanten Gasen ist bei Verwendung herkömmlicher Strohhackselabdeckungen eine Zunahme der Methan- und vor allem der Distickstoffmonoxidemissionen zu erwarten. Die emissionsmindernde Wirkung handelsüblicher Granulate ist für alle drei genannten Gase besser als die von Stroh zu bewerten. Aber auch bei der Verwendung handelsüblicher Granulate ist mit erhöhten  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen zu rechnen.

Die Kombination der Abdeckmaterialien mit pH-Wert senkenden Substanzen kann die Emissionen sowohl von Ammoniak als auch von Distickstoffmonoxid und Methan wirksam vermindern. Der Einfluss des pH-Wertes auf die Methanbildung ist aus Fermentationsprozessen bekannt. Ein Einfluss des pH-Wertes auf die  $N_2O$ -Bildung ist nicht bekannt, auch die durchgeführten Untersuchungen lassen einen solchen Einfluss nicht erkennen. Die Ursache für das Vermindern bzw. Vermeiden der  $N_2O$ -Emissionen durch das Kombinieren der Abdeckmaterialien mit pH-Wert senkenden Substanzen ist offenbar das Vermindern bzw. Vermeiden trockener Verkrustungen an der Oberfläche der Gülle bzw. Abdeckung.

Stellt man die Ergebnisse zu den Geruchsemissionen anderen Untersuchungsergebnissen gegenüber, so stellt man sehr schlechte Übereinstimmungen für vergleichbare Varianten fest – Stroh- oder Perlitabdeckungen mit Schichtdicken von 10 cm (WANKA und HÖRNIG, 1997). Aus diesem Grund und wegen der z. T. großen Schwankungen der Einzelwerte scheinen die Ergebnisse zu den Geruchsemissionen nicht repräsentativ zu sein.

## 5 Literatur

- AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, T.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. (2004): Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions during Storage and after Application of Dairy Cattle Slurry and Influence of Slurry Treatment, in: Greenhouse Gas Emissions from Agriculture – Mitigation Options and Strategies, International Conference, Leipzig, Germany, 10–12 February 2004, p. 90–95.
- BERG, W. (2003): Reducing Ammonia Emissions by Combining Covering and Acidifying Liquid Manure, in: Air Pollution from Agricultural Operations, 3rd International Conference, Raleigh, NC, USA, 12–15 October 2003, p. 174–182.
- BERG, W.; HÖRNIG, G.; WANKA, U. (2003): Ammoniak-Emissionen bei der Lagerung von Fest- und Flüssigmist sowie Minderungsmaßnahmen, in: Emissionen der Tierhaltung – Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406, S. 151–162.
- BERG, W.; BRUNSCH, R.; PAZSICZKI, I. (2004): Greenhouse Gas Emissions from Covered Slurry Compared with Uncovered during Storage, in: Greenhouse Gas Emissions from Agriculture – Mitigation Options and Strategies, International Conference, Leipzig, Germany, 10–12 February 2004, p. 58–62.
- CLEMENS, A.; WOLTER, M.; WULF, S.; AHLGRIMM, H.-J. (2003): Methan- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, in: Emissionen der Tierhaltung – Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406, S. 203–214.
- WANKA, U.; HÖRNIG, G. (1997): Untersuchungen zur Wirksamkeit von Güllebehälterabdeckungen zur Reduzierung von Emissionen, in: Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 3. Internationale Tagung, Kiel, 11–12 März 1997, S. 522–530.

## Teilhygienisierung von Rindergülle durch mehrstufige anaerobe Behandlung: Untersuchungen im Pilot-Maßstab

### *Hygienization of liquid cattle manure by multiple-stage anaerobic treatment: Investigations at pilot scale*

MATHIAS EFFENBERGER<sup>1</sup>, JOHANNES BACHMAIER<sup>1</sup>, GABRIELA GARCÉS<sup>2</sup>,  
MICHAEL LEBUHN<sup>2</sup>, PETER A. WILDERER<sup>2</sup>, ANDREAS GRONAUER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Str. 36, D-85354 Freising

<sup>2</sup> Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Technischen Universität München, Am Coulombwall, D-85748 Garching

**Schlüsselwörter:** Biogastechnologie; Gülle; Krankheitserreger; Wasserschutz  
**Keywords:** *biogas technology; liquid manure; pathogens; water protection*

### **Zusammenfassung**

Die anaerobe Behandlung von Wirtschaftsdünger bietet sich als Verwertungsverfahren an, um den landwirtschaftlichen Eintrag potentiell pathogener Organismen in die Umwelt aus der Tierhaltung zu verringern und Nutzungskonflikte zwischen Land- und Wasserwirtschaft zu entschärfen. In diesem Projekt wurde eine Pilot-Biogasanlage, bestehend aus einer mesophil-thermophil-mesophilen Fermenterkaskade, auf ihre verfahrenstechnische und hygienische Leistungsfähigkeit hin untersucht.

Die Anlage erzielte aus Milchviehgülle (7,7 % TS) einen relativ hohen Gas- bzw. Methanertrag von 0,41 bzw. 0,23 m<sup>3</sup> \* kg oTS<sup>-1</sup>. Die spezifische Gas- bzw. Methanproduktion der Anlage war mit 0,6 bzw. 0,34 m<sup>3</sup> \* (m<sup>3</sup> \* d)<sup>-1</sup> vergleichsweise gering; die Raumbelastung war durch den ersten mesophilen Fermenter in der Reihe limitiert. Untersuchte Indikatorkeime in der Gülle wurden bei Einhaltung der Solltemperatur von 55 °C in der thermophilen Stufe um annähernd 5 log-Stufen reduziert.

### **Summary**

Anaerobic digestion of animal manure can reduce potential pathogen input from livestock farming into the environment, and may thus be a way to mitigate competing interests of agriculturists and water suppliers. This project investigated the performance of a pilot-biogas plant consisting of a mesophilic-thermophilic-mesophilic digester chain, in terms of biogas production and inactivation of potential pathogens.

The biogas plant achieved a relatively high biogas and methane yield from semi-liquid dairy cattle manure (7.7 % (m/m) total solids) of 0.41 and 0.23 m<sup>3</sup> \* kg oTS<sup>-1</sup>, respectively. The observed specific biogas and methane production of 0.6 and 0.34 m<sup>3</sup>\*(m<sup>3</sup> \* d)<sup>-1</sup>, respectively, was comparably low, as the loading rate of the digester chain was limited by the first mesophilic digester. Numbers of indicator microorganisms in semi-liquid manure were reduced by almost 5 log units provided that a temperature of 55 °C was maintained in the thermophilic digester.

## 1 Einleitung

Neben der Erzielung eines Netto-Energieüberschusses werden durch die anaerobe Behandlung von Wirtschaftsdünger auch darin enthaltene (potentiell) pathogene Mikroorganismen in ihrer Vitalität stark beeinträchtigt. In thermophil betriebenen Gärbehältern (Prozesstemperatur 50–60 °C) findet aufgrund des Temperatureinflusses eine effiziente Abtötung vegetativer Bakterien und vieler Viren innerhalb von Stunden statt (HAAS et al., 1995; KEARNEY et al., 1993; OLSEN & LARSEN, 1986).

Die Biogastechnologie bietet sich unter diesem Aspekt generell als Verwertungsverfahren für Wirtschaftsdünger an, um den Eintrag von Fäkalkeimen und potentiellen Krankheitserregern in die Umwelt zu verringern. In Wasserschutzgebieten, wo die Ausbringung von Wirtschaftsdünger zum Schutz des Trinkwassers vor einer Belastung mit hygienisch bedenklichen Mikroorganismen in der engeren Schutzzone (Zone II) im allgemeinen verboten ist, könnte die Biogastechnologie im Einzelfall dazu beitragen, Nutzungskonflikte zwischen Land- und Wasserwirtschaft zu entschärfen.

Diese Problematik war Ausgangspunkt eines gemeinsamen Forschungsprojektes wissenschaftlicher Institute aus den Bereichen Landwirtschaft und Wassergütewirtschaft sowie eines Wasserversorgungsunternehmens. Ziel der Arbeiten war die Untersuchung und Optimierung der Inaktivierung einer breiten Palette hygienisch relevanter Mikroorganismen in Rindergülle durch die Behandlung in einer mehrstufigen Biogasanlage im Pilotmaßstab und die Bewertung des Verfahrens aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht. In diesem Beitrag werden Ergebnisse zur Prozessstabilität und Abbauleistung sowie zu den hygienischen Begleituntersuchungen des Verfahrens vorgestellt.

## 2 Material und Methoden

Die oben genannten Fragestellungen wurden im volltechnischen Maßstab auf einem Milchviehbetrieb im oberbayerischen Alpenvorland untersucht. Der Betrieb der Pilot-Biogasanlage wurde weitgehend vom Landwirt übernommen, die wissenschaftliche Betreuung wurde von den beteiligten Forschungsinstituten durchgeführt.

### 2.1 Pilot-Biogasanlage

Die auf eine Behandlungskapazität von ca. 2000 m<sup>3</sup> Gülle im Jahr ausgelegte Pilotanlage besteht aus drei Fermentern in Reihe, die mesophil, thermophil und wieder mesophil betrieben werden (F1 bis F3). Die mehrstufige Bauweise und die Ausführung des thermophilen Fermenters als nicht voll durchmischter Reaktor wurden mit dem Ziel der Erhöhung der Hygienisierungsleistung bei quasi-kontinuierlicher Beschickung gewählt.

Gülle und Waschwasser aus dem Milchviehstall bzw. der Melkanlage werden in einem Gärkanal gesammelt und von dort chargenweise in die Vorgrube der Biogasanlage gepumpt. Das Substrat wird mit Exzentrerschneckenpumpen durch die Fermenterkaskade gefördert. Vergorenes Substrat aus Fermenter 3 fließt in ein Endlager mit gasdichter Abdeckung über.

Das produzierte Biogas aus den Fermentern 1 bis 3 wird gemeinsam mit dem im Endlager gebildeten Restgas einem Verbrennungsmotor-Blockheizkraftwerk zur Erzeugung von Strom

und Wärme zugeführt. Einen Gesamtüberblick über die Komponenten und die messtechnische Ausstattung der Pilot-Biogasanlage gibt Tabelle 1.

Tab. 1: Komponenten und messtechnische Ausstattung der Pilot-Biogasanlage

Vorgrube	Nutzvolumen: 56 m <sup>3</sup> Rührwerk: Stabmixer, schräg von der Decke eintauchend
Fermenter 1	Rührkesselfermenter in Betonbauweise; Nutzvolumen: 50 m <sup>3</sup> Rührwerk: Stabmixer, schräg von der Decke eintauchend mesophile Prozessführung; innen liegende Wandheizung
Fermenter 2	liegender, zylindrischer Stahlbehälter mit drei Trennwänden; Nutzvolumen: 46 m <sup>3</sup> ; Rührwerk: langsam laufendes Paddelrührwerk thermophile Prozessführung; beheizte Rührwelle und außen liegende (teilweise) Mantelheizung
Fermenter 3	Rührkesselfermenter in Betonbauweise, elastische Folienhaube Nutzvolumen: 150 m <sup>3</sup> Rührwerk: Stabmixer, schräg durch die Behälterwand eintauchend mesophile Prozessführung; innen liegende Wandheizung
Endlager	zylindrischer Betonbehälter, nicht elastische Folienhaube Nutzvolumen: 800 m <sup>3</sup> ; unbeheizt, nicht wärmedämmend Rührwerk: Stabmixer, senkrecht durch die Behälterwand eintauchend
Gülförderung	3 Exzentralschneckenpumpen, Förderrate: ca. 12 m <sup>3</sup> /h, magnetisch-induktive Durchflussmesser saugseitig
Zentrale Schaltanlage	SPS (Bernecker + Rainer / SCHMACK BIOGAS AG): Fermenterhei- zungsregelung, Fermenterbeschickung, Rührwerksbetrieb, Füllstands- regelung
Biogasanalyse (Mischgas)	SCHMACK SSM 6000: CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S
Gasmengenmessung	Balgengaszähler vor dem Motor
Blockheizkraftwerk	Zündstrahlmotor, 30 kW elektrische Leistung (Biogasbetrieb), Synchrongenerator, Abgas- und Kühlwasser-Wärmetauscher, Zündöl- mengenmesser
Thermische Energieströme	5 Wärmemengenzähler (Sekundärkreislauf, Fermenter 1 bis 3, Notkühler)
Elektrische Energieströme	Zähler für gesamten produzierten, eingespeisten und aus dem Netz bezogenen elektrischen Strom

## 2.2 Anlagenbetrieb und Dokumentation

Die Pilot-Biogasanlage ist mittlerweile seit mehr als zwei Jahren in Betrieb. Für die hier dokumentierte Auswertung der Abbauleistung wurde ein Zeitraum von fünf Wochen im Sommer 2004 mit weitgehend störungsfreiem Betrieb und gleichmäßig hoher Biogasproduktion betrachtet (Tage 42 bis 78 in Abbildung 1). Während dieses Zeitraumes wurde die Anlage mit durchschnittlich 5,7 m<sup>3</sup> Gülle pro Tag, aufgeteilt auf 21 bis 22 Beschickungszyklen,

beaufschlagt. Daraus errechnen sich hydraulische Verweilzeiten von im Mittel 8,9; 8,3; bzw. 26,9 Tagen in den Fermentern 1 bis 3.

Alle über die zentrale Schaltanlage erfassten Daten (Tabelle 1) wurden online aufgezeichnet. Stundenmittelwerte der Umgebungstemperatur und der Temperatur des Brenngases vor dem Motor wurden ebenfalls fortlaufend aufgezeichnet. In einem Betriebstagebuch wurden einmal täglich manuelle Aufzeichnungen aller Zählerstände, der Anzeigen der zentralen Schaltanlage sowie der minimalen und maximalen Umgebungstemperatur vorgenommen.

### 2.3 Hygienische Begleituntersuchungen

Im Projekt wurde eine breite Palette potentiell pathogener Keime und Indikatororganismen untersucht, darunter auch Sporenbildner, Parasiten und RNA-Viren, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen wird. Dargestellt werden Daten zu Fäkalcoliformen, Coliformen und intestinalen Enterokokken. Diese Organismengruppen wurden über eine MPN-Methode mit Fluorocult®-Laurylsulfat-Bouillon (in Anlehnung an EG-Richtlinie 76/160/EWG) bzw. über Filtrat-Kultivierung auf m-Enterokokken / Galle-Äsculin-Agar (ISO/DIS 7899-2) bestimmt.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Prozessstabilität und Abbauleistung

Die Zusammensetzung der Rohgülle über einen Zeitraum von fünf Wochen (Tage 42 bis 78 in Abbildung 1) ist in Tabelle 2 aufgeführt. Die daraus resultierenden mittleren Raumbelastungen der Fermenter 1 bis 3 zeigt Tabelle 3.

Tab. 2: Mittlere Zusammensetzung der Rohgülle

Trockensubstanz [Massen-%] (n = 6)	7,7 ± 0,1
organische Trockensubstanz [Massen-% TS] (n = 6)	79,4 ± 0,3
organische Trockensubstanz [g/kg] (n = 6)	61,1 ± 1,2
Ammoniakalischer Stickstoff [mg/l] (n = 5)	1877 ± 42
pH (n = 5)	7,4 ± 0,1

Tab. 3: Mittlere Raumbelastungen der Fermenter 1 bis 3

	Fermenter 1	Fermenter 2	Fermenter 3
Raumbelastung [kg oTS * (m <sup>3</sup> * d) <sup>-1</sup> ]	6,9 ± 0,2	6,2 ± 0,1	1,7 ± 0,06

Als guter Indikator für die Stabilität des anaeroben Abbauprozesses dient die Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren. Diese steigt an, wenn aufgrund von Störungen oder Überlastungen des Prozesses das Fließgleichgewicht zwischen Säure bildenden und Säure abbauenden Reaktionen gestört ist. Dies war zu Beginn des in Abbildung 1 dargestellten

Zeitraumes nach vorausgegangenen Unregelmäßigkeiten in der Beschickung in Proben aus allen drei Fermentern erkennbar.

Unregelmäßigkeiten in der Beschickung um Tag 30 führten erneut zu FFS-Werten von über 1000 mg/l im relativ hoch belasteten F1 (Abbildung 1). In der Folge stieg auch die FFS-Konzentration im F2 stark an, wobei hier das Niveau an FFS, wie für thermophile Prozessführung zu erwarten, durchgängig über demjenigen in den mesophilen Fermentern lag. Im Gärrest wurden höhere FFS-Konzentrationen bestimmt als in Proben aus Fermenter 3. Dies könnte eine Folge des Temperaturgefälles vom F3 zum unbeheizten Endlager sein. Die Geschwindigkeit der Säurebildung aus noch vorhandenem abbaubarem organischem Material ist weniger temperatursensitiv als die Methanbildung.

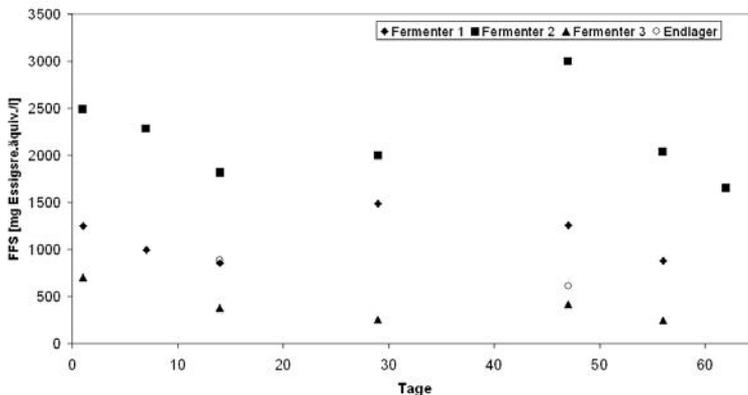


Abb. 1: Gesamt-Fettsäurekonzentrationen in Proben von Fermenterhalten und Gärrest

Eine Bilanzierung der in den Fermentern 1 bis 3 abgebauten oTS auf Basis der Proben von Rohsubstrat und Fermenterinhalt ergab einen mittleren Abbaugrad von  $42 \pm 2 \%$ . Dieser Wert liegt im oberen Bereich der Beobachtungen für den Abbau von Rindergülle in landwirtschaftlichen Biogasanlagen (GOSCH, 1984).

Die gemittelte Biogasproduktion belief sich auf  $145 \pm 6 \text{ Norm-m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , woraus sich mit den Werten der täglich durchgeführten Gasanalyse eine mittlere Methanproduktion von  $82 \pm 3 \text{ Norm-m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  ergab.

Der spezifische Biogas- bzw. Methanertrag bezogen auf die zugeführte organische Trockensubstanz errechnete sich zu 0,41 bzw.  $0,23 \text{ Norm-m}^3 \cdot \text{kg oTS}^{-1}$ . Diese Werte erscheinen für Milchviehgülle sehr günstig. WELLINGER et al. (1991) zitieren für die Gasausbeute aus Milchviehgülle in landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit einem Rührkesselfermenter Gasertragswerte von 0,21 bis  $0,23 \text{ Norm-m}^3 \cdot \text{kg oTS}^{-1}$  bei Verweilzeiten zwischen 21 und 57 Tagen und vergleichsweise niedrigen Gärtemperaturen von 28 bis  $33 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die auf das Gesamt-Fermentervolumen bezogene Gas- bzw. Methanproduktion der Pilot-Biogasanlage lag bei vergleichsweise geringen  $0,6$  bzw.  $0,34 \text{ Norm-m}^3 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ . Durch die Reihenschaltung ist die Raumbelastung der Anlage durch den ersten Fermenter limitiert und es ergibt sich ein vergleichsweise großer Gesamtgärraum.

### 3.2 Hygienische Begleituntersuchungen

Von der Rohgülle in der Vorgrube (VG) bis zur vergorenen Gülle in Fermenter 3 wurde eine Verringerung der Keimzahl von Fäkalcoliformen um annähernd 5 log-Stufen, von Coliformen um 4 log-Stufen und von intestinalen Enterokokken um etwa 2,5 log-Stufen beobachtet (Tabelle 4). Wie die Betrachtung der Daten über den gesamten bisherigen Versuchszeitraum zeigte, war diese Keimreduktion allerdings nur gewährleistet, wenn in der thermophilen Stufe durchgängig eine Temperatur von 55 °C eingehalten wurde. Im Endlager (EL) deutete sich eine, wenn auch sehr geringe Wiederverkeimung an. Sporenbildner wurden erwartungsgemäß durch die Behandlung kaum beeinträchtigt, bei den untersuchten Parasiten (*Cryptosporidium parvum*) ergab sich vorläufigen Daten zufolge vor allem durch die thermophile Behandlung eine Reduktion der Infektiosität um mindestens 3 log-Stufen (nicht dargestellt).

Tab. 4: Mittlere Keimzahlen (MPN/ml) in den untersuchten Kompartimenten der Fermenterkaskade

	VG	F1	F2	F3	EL
Fäkalcoliforme	9,5 * 10 <sup>4</sup>	1,2 * 10 <sup>3</sup>	2,5	1,5	2,8
Coliforme	1,6 * 10 <sup>5</sup>	1,8 * 10 <sup>3</sup>	18,0	16,7	59,2
Intestinale Enterokokken	1,9 * 10 <sup>4</sup>	2,3 * 10 <sup>3</sup>	75,0	50,0	86,7

## 4 Schlussfolgerungen

Die anaerobe Behandlung von Milchviehgülle in einer mesophil-thermophil-mesophilen Fermenterkaskade im Pilotmaßstab lieferte einen relativ hohen Biogas- und Methanertrag. Potentielle pathogene und Indikatorkeime in der Gülle wurden bei Einhaltung der Solltemperatur in der thermophilen Stufe um annähernd 5 log-Stufen (99,999 %) reduziert. Ein wirtschaftlicher Betrieb der Pilotanlage allein auf Basis von Gülle war nicht möglich. Bei größer konzipierten Anlagen würden die Einnahmen aus dem Stromverkauf bestenfalls zur Kostendeckung ausreichen. Durch Zugabe geringer Mengen an Kosubstraten könnte ein Gewinn erwirtschaftet werden.

## 5 Literatur

- HAAS, B.; AHL, R.; BÖHM, R.; STRAUCH, D. (1995): Inactivation of viruses in liquid manure. Rev. sci. tech. Off. int. Epiz. 14 (2): 435–445.
- KEARNEY, T. E.; LARKIN, M. J.; LEVETT, P. N. (1993): The effect of slurry storage and anaerobic digestion on survival of pathogenic bacteria. J. Appl. Bacteriol. 74: 86–93.
- OLSEN, J. E.; LARSEN, H. E. (1986): Bacterial decimation times in anaerobic digestions of animal slurries. Biological Wastes 21: 153–168.
- GOSCH, A. (1984): Anaerober Abbau von flüssigen Abfällen aus Tierhaltungen. Dissertation, Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- WELLINGER, A.; EDELMANN, W.; FAVRE, R.; SEILER, B.; WOSCHITZ, D. (1991): Biogas-Handbuch: Grundlagen – Planung - Betrieb landwirtschaftlicher Biogasanlagen, 2. Auflage, Verlag Wirz AG: Aarau, 1991. ISBN: 3-85983-035-X.

# Erfahrungen und Stand der Zulassungsprüfung des Landkreises Cloppenburg für Abluftreinigungsverfahren in der Tierhaltung *Experiences and status in the Cloppenburg administrative district admission survey for waste gas treatment systems in animal husbandry*

JOCHEN HAHNE<sup>1</sup>, FRIEDRICH ARENDS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Postfach 2549, D-26015 Oldenburg

**Schlüsselwörter:** Abluftreinigung, Zulassungsprüfung, Staub, Geruch, Ammoniak, Tierhaltung  
**Keywords:** Waste air treatment, admission survey, dust, odor, ammonia, animal husbandry

## **Zusammenfassung**

*Abluftreinigungsverfahren können Emissionen aus der Tierhaltung wirksam reduzieren. Die Zulassungsprüfung des Landkreises Cloppenburg soll einen einheitlichen Bewertungsrahmen schaffen, zur Standortsicherung beitragen und dem Immissionschutz dienen. In diesem Beitrag werden die wesentlichen Anforderungen des Zulassungsverfahrens und die gesammelten Erfahrungen beschrieben. Die Firmen DR. SIEMERS UMWELTECHNIK und RIMU haben die Zulassungsprüfung für die Minderung von Geruch, Staub und Ammoniak in der Schweinehaltung erfolgreich absolviert (Stand: November 2004). Mangelhafte Abluftreinigungsverfahren zum Nachteil der Landwirte (Bestandssicherung) und der Umwelt werden durch die Zulassungsprüfung zukünftig an Bedeutung verlieren.*

## **Summary**

*Waste air treatment systems may reduce emissions from animal husbandry effectively. The admission survey of the administrative district Cloppenburg should form a consistent assessment of value, contribute to the security of the farms location and be useful for imission reduction as well. In this article essential requirements of the admission survey and the collected experiences are described. The companies SIEMERS UMWELTECHNIK and RIMU have completed the admission survey successfully for the reduction of odor, dust and ammonia in pig facilities (status: November 2004). Insufficient waste air treatment techniques which are harmful for farmers (security of farm location) and environment will become less important.*

## 1 Ziel der Zulassungsprüfung

Abluftreinigungsanlagen sind nach wie vor nicht Stand der Technik der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Sie haben in den letzten Jahren jedoch erheblich an Bedeutung gewonnen. Dies liegt u. a. daran, dass bei Betriebserweiterungen häufig Mindestabstände zu Wohnbebauungen oder empfindlichen Ökosystemen unterschritten werden. In einigen Landkreisen werden Betriebserweiterungen aufgrund des hohen Tierbestandes und der damit verbundenen Vorbelastung ohne Abluftreinigung zusätzlich eingeschränkt.

Vor diesem Hintergrund wurde vom Landkreis Cloppenburg eine einheitliche Zulassungsprüfung für Abluftreinigungsverfahren in der Tierhaltung initiiert. Ziel dieser Prüfung ist die

- Schaffung eines einheitlichen Bewertungsrahmens, der in der Verwaltungspraxis anwendbar ist und Maßstäbe für die Überwachung liefert,
- Standortsicherung für Tierhaltungsbetriebe, die Betriebserweiterungen im Innenbereich möglich macht,
- Begrenzung einer weiteren Zersiedlung des Außenbereiches wegen zunehmender Konflikte bei kommunalen Entwicklungsvorhaben und die
- Verbesserung des Immissionsschutzes durch Verhinderung von „Alibi-Filtern“.

## 2 Anforderungen an die Reinigungsleistung

Die Mindestanforderungen an die Reinigungsleistung von Abluftreinigungsanlagen, die nach dem Cloppenburger Leitfaden geprüft werden, sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Mindestanforderungen an Abluftreinigungsverfahren nach dem Cloppenburger Leitfaden  
*Minimum requirements for waste gas treatment systems according to the „Cloppenburger Leitfaden“*

Parameter	Mindestanforderung / <i>minimum requirement</i>
Gesamtstaub / <i>total dust</i>	70 % Minderung / <i>70 % reduction</i>
Ammoniak / <i>ammonia</i>	70 % Minderung* / <i>70 % reduction*</i>
Geruch / <i>odor</i>	< 300 GE/m <sup>3</sup> ** im Reingas / <i>&lt; 300 OU/m<sup>3</sup>** in clean gas</i> kein Rohgasgeruch im Reingas / <i>no raw gas odor in clean gas</i>

\* 70 % der NH<sub>3</sub>-N-Fracht, N-Bilanz/70 % of the NH<sub>3</sub>-N load, nitrogen balance

\*\* oberer Grenzwert/upper limit value

Die Einhaltung der Mindestanforderungen ist durch ein abgestimmtes Messprogramm von einer anerkannten Messstelle nachzuweisen. Antragsteller können ihre Anlagen für einzelne oder für alle Parameter prüfen lassen.

## 3 Antragstellung und Prüfverfahren

Der Antragsteller hat für das Prüfungsverfahren folgende Unterlagen vorzulegen:

- Liste mit Referenzanlagen,
- Genaue Funktionsbeschreibung der Abluftreinigungsanlage,

- Beschreibung einer Musteranlage für beantragte Tierart, Haltungsform und Entlüftungstechnik mit Grundrissen, Schnitten sowie genauen Abmessungen,
- Beschreibung des ordnungsgemäßen Betriebes (Benutzerhandbuch)
- Revisions- und Wartungsplan incl. Betriebstagebuch und
- Ergebnisse eines abgestimmten Messprogramms.

Die eingereichten Unterlagen werden von einem unabhängigen Sachverständigen-Gremium geprüft, das aus Vertretern des Landkreises Cloppenburg, der Landwirtschaftskammer Weser-Ems, der FAL, des TÜV-Nord und der FH Münster besteht. Sämtliche Unterlagen werden vertraulich behandelt. Nach Eingang der erforderlichen Unterlagen werden im Regelfall mehrere Anlagen besichtigt. Danach wird ein Prüfungsgespräch geführt und ein Protokoll erstellt, das eine Bewertung des Antrages enthält. Das Zulassungsschreiben wird vom Landkreis erstellt. Es enthält die Feststellung der Eignung für die geprüften Parameter (Staub, Geruch, Ammoniak) sowie die beantragte Tierart und ferner Rahmenbedingungen und maßgebliche Bemessungsparameter, für die die Zulassung gilt sowie Angaben zur Überwachung und Übertragbarkeit auf andere Größenordnungen. Nach Zulassung des Anlagensystems und Errichtung einer entsprechenden Anlage erfolgt die Bauabnahme durch die Genehmigungsbehörde sowie die Abnahmemessung.

Erfahrungen zeigen, dass Abluftreinigungssysteme hohe Abscheidegrade für Staub, Ammoniak und Geruch gewährleisten, wenn sie sachgerecht dimensioniert und ordnungsgemäß betrieben werden. Die sachgerechte Dimensionierung wird durch das Zulassungsverfahren sichergestellt. Von entscheidender Bedeutung für die Anlagenwirksamkeit ist jedoch die Wartung und Pflege der Anlage. Auch in diesem Punkt zeigen die Erfahrungen, dass eine regelmäßige Anlagenüberwachung von elementarer Bedeutung ist. Daher wird bei der Antragstellung ein Benutzerhandbuch sowie ein Betriebstagebuch mit Revisions- und Wartungsplan gefordert. Das Betriebstagebuch ist vorzugsweise in elektronischer Form zu führen. Die zuvor festgelegten und gespeicherten Daten sind über 5 Jahre für Kontrollzwecke aufzubewahren. Der behördliche Überwachungsaufwand hängt von verschiedenen Aspekten, wie dem Abstand zum nächsten Immissionspunkt, eventueller Wartungsverträge sowie der Automatisierung der Anlage ab. Wiederholungsmessungen durch nach § 26 zugelassene Messstellen können angeordnet werden, wenn zu befürchten ist, dass die Anlage nicht ordnungsgemäß betrieben wird.

## 4 Messkomponenten und Messbedingungen

Ziel des Messprogramms ist die Erfassung emissionsrelevanter Zeiträume über eine ausreichende Messdauer und Messhäufigkeit. Die Messungen sollen unter praxisüblichen Betriebsbedingungen durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass bei den Messungen die relevanten Betriebsparameter erfasst werden müssen. Dies betrifft z. B. das Haltungsverfahren, die Belegungsdichte, die Fütterung und die Art der Lüftung, die Güllelagerung und weitere emissionsrelevante Aspekte wie Zuluftkonditionierung oder Wasserverneblung im Stall. Vor diesem Hintergrund beträgt die Messdauer in der Schweinehaltung bei durchschnittlicher Belegung beispielsweise 2 Monate im Sommer und 2 Monate im Winter unter Einbeziehung der Endmastphase.

Für die Durchführung der Messungen einzelner Parameter wurden Messverfahren und Messhäufigkeiten festgelegt (Tab. 2), die Messorte sind bei der Anlagenbesichtigung abzustim-

men. Wichtig bei der Durchführung der Messungen ist die Erfassung der Randbedingungen (Volumenstrom, Feuchte, Druck).

Tab. 2: Messparameter, Messverfahren und Häufigkeiten nach dem Cloppenburger Leitfaden  
*Parameters, measuring methods and frequency according to the "Cloppenburger Leitfaden"*

Parameter	Verfahren Method	Messhäufigkeit Frequency
Gesamtstaub	VDI 2066, gravimetrisch	Wöchentliche Einzelmessung, 3x im Rohgas und an 2 Stellen 3x im Reingas
Total dust	VDI 2066, gravimetric	Measurement weekly, 3x in raw gas and 3x in clean gas at two measuring points
Ammoniak	z.B. Infrarot, s. KTBL 401*	Kontinuierliche Messung im Roh- und Reingas mit Temperaturerfassung
Ammonia	e.g. infrared, KTBL 401	Continuous measuring in raw and clean gas with temperature registration
Geruch	EN 13725	Wöchentliche Einzelmessung, 3x im Rohgas und an 2 Stellen 3x im Reingas, hedonische Bewertung des Geruchs „es riecht nach...“
Odor	EN 13725	Measurement weekly, 3x in raw gas and 3x in clean gas at two measuring points, hedonic odor tone description "smells like ..."

\* Auswahl des Verfahrens nach Rücksprache mit dem Sachverständigen-Gremium

\* Method selection after consultation with technical experts

## 5 Erfahrungen und Stand der Zulassungsprüfung

Der Cloppenburger Leitfaden wurde in seiner endgültigen Form am 14.06.2002 erstellt. In der Zwischenzeit haben 7 Firmen insgesamt 8 Anträge gestellt (Tab. 3). 5 dieser Anträge beziehen sich auf den Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung, bei den anderen wird der Einsatz für die Geflügelhaltung oder für beide Tierarten beantragt. 6 der 8 Anträge beziehen sich auf die Abscheidung von Geruch, Ammoniak und Staub. Lediglich in einem Fall wird ausschließlich die Zulassung zur Geruchsminderung beantragt und in einem weiteren die Zulassung zur Staub- und Ammoniakminderung. Bei den beantragten Anlagentypen handelt es sich um Biofilter (1 Antrag), Wäscher und Rieselbetтанlagen (4) sowie 3-stufige Kombi-Anlagen (3). Folgende zwei Systeme haben die Zulassungsprüfung bislang erfolgreich bestanden (Stand: November 2004):

- Einstufiger Rieselbettfilter für die Schweinehaltung, Fa. RIMU und
- 3-stufige Kombi-Anlage für die Schweinehaltung (physikalisch-chemisch-biologisch, Fa. Siemers).

Die Bearbeitungszeit zwischen Antragstellung und Zulassung beträgt durchschnittlich ein Jahr. Die Verfahrensdauer ist im wesentlichen auf unzureichende Antragsunterlagen zurückzuführen. Als wesentliche Mangel­punkte sind zu nennen:

- Messverfahren, Messdauer, Zeitraum (Sommer- und Wintermessungen) und Häufigkeit entsprechen nicht den Anforderungen des Leitfadens, die zur Beurteilung der Mess-

ergebnisse notwendige Erfassung der Rand- und Betriebsbedingungen ist oft unzureichend und

- Funktionsbeschreibungen sowie Anlagendimensionierungen sind oft ungenau.

Die Genehmigungspraxis der einzelnen Landkreise in bezug auf Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung ist uneinheitlich und führt zu Ungleichbehandlungen. Für eine sachgerechtere und vergleichbarere Praxis ist ein bundeseinheitliches Verfahren von Vorteil. Daher hat die Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) das Prüfverfahren ab dem 01.01.2005 übernommen und den „Prüfrahmen“ in einzelnen Punkten noch erweitert (Betriebssicherheit, Arbeitsschutz, Wahl der Messinstitute). Ergebnis einer erfolgreichen Prüfung bei der DLG ist das DLG-Signum. Altanträge wurden noch bis zum 31.12.2004 nach dem Cloppenburg Leitfaden geprüft, sofern bis zu diesem Datum alle notwendigen Unterlagen eingereicht wurden.

Tab. 3: Stand des Prüfungsverfahrens nach dem Cloppenburg Leitfaden (November 2004)  
*Status of the auditing of procedures according to the "Cloppenburg Leitfaden" (November 2004)*

Company	Zulassung <i>Approval</i>	Tierart <i>Animal kind</i>	Art der Anlage <i>System</i>	Minderung / <i>Reduction</i>		
				Staub <i>Dust</i>	NH <sub>3</sub>	Geruch <i>Odor</i>
Siemers	Erteilt <i>Accorded</i>	Schwein / <i>Pig</i>	Dreistufig <i>Three-stage</i>	X	X	X
Siemers	Beantragt <i>Requested</i>	Geflügel / <i>Poultry</i>	Dreistufig <i>Three-stage</i>	X	X	X
BIG Dutchman	Beantragt <i>Requested</i>	Schwein / <i>Pig</i>	Dreistufig <i>Three-stage</i>	X	X	X
Initiative Biofilter	Beantragt <i>Requested</i>	Schwein / <i>Pig</i>	Biofilter <i>Biofilter</i>			X
Devrie	Beantragt <i>Requested</i>	Schwein/Geflügel <i>Pig/Poultry</i>	Wäscher <i>Scrubber</i>	X	X	X
Bovema	Beantragt <i>Requested</i>	Schwein/Geflügel <i>Pig/Poultry</i>	Wäscher <i>Scrubber</i>	X	X	
RIMU	Erteilt <i>Accorded</i>	Schwein / <i>Pig</i>	Wäscher <i>Scrubber</i>	X	X	X
Dorset/ Uni-Q-Fill	Beantragt <i>Requested</i>	Schwein / <i>Pig</i>	Wäscher <i>Scrubber</i>	X	X	X

Mit den Zulassungsprüfungen und einer ausgewogenen Anlagenüberwachung dürften Alibi-filter der Vergangenheit angehören. Ferner ist eine gewisse Marktberreinigung von eher zweifelhaften Verfahrenskonzepten zu erwarten. Dies nutzt allen:

- dem Landwirt: Wenn Abluftreinigung am konkreten Standort erforderlich ist, erhält er ein funktionsfähiges System, das ihm Bestandsschutz zusichert,
- der Genehmigungsbehörde: Betriebsgenehmigungen basieren auf besser gesicherten Sachständen, Beschwerden dürften rückläufig sein,

- dem Anwohner: Geruchsbelästigungen und mögliche Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Staubimmissionen werden wirksam reduziert,
- dem Tier: Bei zugelassenen Abluftreinigungsanlagen ist sichergestellt, dass die maximale Sommerlufrate auch dauerhaft gefördert werden kann und
- der Umwelt: Wenn erforderlich, werden Ammoniak- und Staubemissionen erheblich verringert.

## 6 Literatur

HAHNE, J.; SCHIRZ, St.; SCHUMACHER, W. (2002): Leitfaden des Landkreises Cloppenburg zur Feststellung der Eignung von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung zur Anwendung in der Genehmigungspraxis und bei der Überwachung. [www.lkclip.de/2\\_kreisverwaltung/kv\\_ba\\_biofilter.shtml](http://www.lkclip.de/2_kreisverwaltung/kv_ba_biofilter.shtml).

KTBL (Hrsg., 2001): Messmethoden für Ammoniakemissionen. KTBL-Schrift 401. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, ISBN: 3-7843-2130-5.

## Nachrüstlösungen zur Abluftreinigung bei dezentraler Abluftführung in Altställen für die Schweinemast *Solutions to retrofit decentral ventilated pig barns with technical systems for exhaust air treatment*

RICHARD HÖLSCHER, WOLFGANG BÜSCHER

Institut für Landtechnik, Universität Bonn, Nußallee 5, D-53115 Bonn

**Schlüsselwörter:** Staub, Ammoniak, Abluftbehandlung  
**Keywords:** Dust, ammonia, exhaust air treatment

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen der TA-Luft vom 24. Juli 2002 wird den Behörden in Fällen von verstärkten Beschwerden oder hoher regionaler Grundbelastung größerer Handlungsspielraum in Form der „Nachträglichen Anordnung“ bei Altsubstanz eingeräumt, d. h. Maßnahmen zur Emissionsminderung können auch bei bestehenden Anlagen angeordnet werden [TA-Luft, 2002]. Altsubstanz weist meist eine dezentrale Abluftführung auf. Heutige Abluftbehandlungskonzepte, die sowohl technisch wie auch wirtschaftlich bereits untersucht wurden, setzen jedoch eine zentrale Abluftführung voraus. Basierend auf einer Patentrecherche wurde ein Überblick über die theoretisch möglichen Abluftbehandlungskonzepte für Altsubstanz erstellt.*

*Die 126 der Recherche zugrunde liegenden Patente zur Abluft-/Luftbehandlung in der Tierhaltung wurden in 6 Kategorien unterteilt, wobei entsprechend der Fragestellung besonders die Nachrüstbarkeit beurteilt wurde. Die Systeme reichen von klassischen Biofiltern, Rieselbettreaktoren und Kombinationsanlagen bis hin zu Luftkonditionierern. Aufbauend auf dieser Systemanalyse wurden 6 Konzepte erarbeitet, die den theoretischen Rahmen für technische Lösungen zur Nachrüstung in dezentral entlüfteter Altsubstanz darstellen.*

### **Summary**

*The revised edition of the "TA-Luft" (the German legal administrative regulation for maximum concentrations of emission and immission of air-polluting substances) from July 2004 empowers the authorities in case of regional high derogation of ambient air quality to enjoin exhaust minimizing initiatives up to technical exhaust air treatment.*

*Motivated by the fact, that today's technologies for exhaust air treatment mostly require central ventilation for the building and the majority of older pig barns are ventilated decentral, a patent research was conducted to give an overview of possible technologies to retrofit on decentral ventilated pig barns.*

*The roughly 126 patents were categorized in 6 technological different systems from the known biofilter technology and combined systems (chemical and physical filtering mechanism) up to special systems for indoor air-treatment. In synthesis 6 concepts were developed comprising all theoretical possible solutions to retrofit decentral ventilated pig barns.*

## 1 Einleitung

Die Anfänge der Abluftfilterung reichen in die 70er Jahre zurück. Meist unter dem Gesichtspunkt der Geruchsbelästigung durch die landwirtschaftliche Intensivtierhaltung wurde das Thema „Emissionen aus Stallungen“ vermehrt öffentlich diskutiert [SCHIRZ 1970]. Veröffentlichungen über die möglichen Maßnahmen zur Emissionsminderung [RIEMANN, MISSFELD 1975] und über die ersten Erfahrungen mit Technologien (Wirkungsgrade, Kosten, ...) zur Abluftbehandlung [SCHIRZ 1975] geben erstmalig eine wissenschaftliche Grundlage, die aus der industriellen Anwendung bekannten Verfahren im landwirtschaftlichen Einsatz zu bewerten. Die Abwägung der Vor- und Nachteile dieser Verfahren führte schon damals zur Idee, standardisierte Abluftwäscher für dezentral entlüftete Stallungen zu schaffen. Diese Entwicklung, die damals in erster Linie aus Kostengesichtspunkten heraus motiviert war, gewinnt heute im Rahmen der „Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz“ (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) [TA-LUFT, 2002] wieder an Bedeutung. Den Behörden wird hier in Fällen von verstärkten Beschwerden oder hoher regionaler Grundbelastung größerer Handlungsspielraum zur „Nachträglichen Anordnung“ – gemäß BImSchG § 17 Abs. 1 – bei Altsubstanz eingeräumt, d. h. Maßnahmen zur Emissionsminderung können angeordnet werden. In diesem Zusammenhang erschließt sich dem Betreiber aus dem BImSchG § 17 Abs. 3a die Möglichkeit zur Kompensation, d. h. Maßnahmen, die in Summe größere Emissionsminderung an der Gesamtanlage bewirken, müssen der Emissionsminderung an dem Streitobjekt Vorrang eingeräumt werden. Dadurch erwächst den Nachrüstlösungen für Altsubstanz, die meist eine dezentrale Ablufführung aufweist, zunehmend Bedeutung [BIMSCHG, 2004].

## 2 Ergebnisse der Patentrecherche

Ziel der Patentrecherche war es, einen generellen Überblick über alle theoretisch möglichen Konzepte zur Abluftfilterung zu bekommen unabhängig davon, ob diese Konzepte bereits realisiert wurden oder überhaupt realisierbar wären. Dementsprechend war für die Patentrecherche ohne Bedeutung, ob es sich um ein tatsächlich erteiltes Patent handelte oder nur um eine Offenlegungsschrift. Als Quelle dienten die per Internet zugängliche „EPODOC“-Patentdatenbank des Europäischen Patentamtes und die „DPMApublikationen“ des Deutschen Patent- und Markenamtes.

Einteilen ließen sich die Patente zum einen in die rein Abluft-filternden Konzept-Varianten zu Biofiltern, Biowäschern und Rieselbettreaktoren, chemischen Abluftbehandlungskonzepten und Kombinationsanlagen. Zum anderen waren Patente von Relevanz, die der Luftbehandlung bzw. Luftkonditionierung dienten. Darüber hinaus wurden auch Patente, die im entfernteren Sinne durch Emissionsminderung mittels Güllebehandlung, o. ä. oder durch eine interessante Lüftungsregelung – interessant für eventuelle Nachrüstkonzepte – mit aufgenommen. Im Generellen wurde in Ergänzung die Nachrüstbarkeit bewertet. Hier sei bemerkt, dass dabei die subjektive Einschätzung zugrunde lag, ob das Patent eher nachrüstgeeignet schien oder eher eine zentrale Ablufführung voraussetzte. In Summe waren 126 Patente im entfernteren Sinne und 72 Patente im engeren Sinne von Bedeutung. Abbildung 1 gibt zum einen die Kategorisierung wieder und zum anderen in stichpunktartiger Form die inhaltlichen Schwerpunkte der Anmeldungen/Veröffentlichungen.

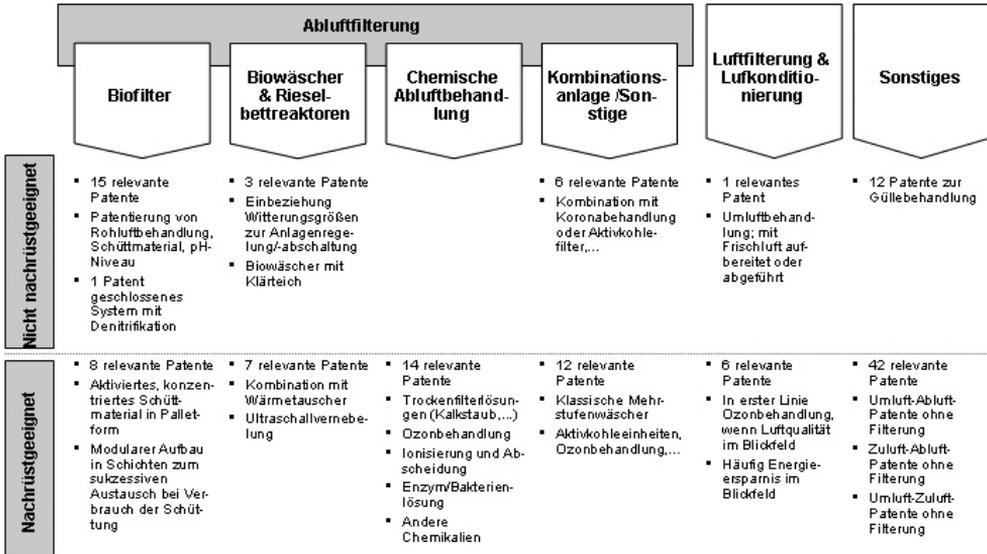


Abb. 1: Kategorisierung der Patente zur Abluftfilterung in der Landwirtschaft

Übergreifend lässt sich zur Patentrecherche festhalten, dass generell sehr viele Patente/Offenlegungsschriften zur Abluftfilterung in der Intensivtierhaltung existent sind, die in der Mehrheit jedoch Biofilter und Biowäscher beschreiben. In jüngster Zeit, d. h. in Anmeldungen/Offenlegungen der letzten Jahre, werden vermehrt Kombinationsanlagen oder Anlagen mit Ozon- bzw. Additivbehandlung beschrieben. In Summe gehen bei der Vielzahl der Patente nur zwei explizit auf die Nachrüstbarkeit ein.

### 3 Konzeptüberblick

Aufbauend auf den Ergebnissen der Patentrecherche wurden die theoretisch möglichen Konzepte zur Nachrüstung von Altsubstanz erarbeitet (Abbildung 2). Ziel war explizit, Konzepte darzustellen und keine konkreten, technischen Lösungsansätze. So stand weniger die Frage im Vordergrund, wie die Bestandteile Staub, Ammoniak und Geruch aus der Abluft entfernt werden, sondern eher welches bau- und lüftungstechnische Konzept diesem zugrunde liegt.

Generell können die Konzepte in ausschließlich Abluft filternde Verfahren (Konzepte 1–3 der Abbildung 2) und in Verfahren, die über eine Senkung des Konzentrationsniveaus der Bestandteile in der Stallluft eine Senkung der Emissionskonzentrationen des Gesamtsystems Stall bewirken (Konzepte 4–6 der Abbildung 2), gegliedert werden.

Konzept 1 steht zum einen für Systeme, die eine Umgestaltung der Luftführung zu einer Zentralabsaugung voraussetzen und zum anderen für Systeme, die auf die Abluftschächte aufgesetzt werden können. Konzept 2 beschreibt zum einen regenerative Hochleistungsfilter wie Keramikfilter, o. ä., zum anderen aber auch verbrauchende Systeme mit „Wechselkartuschen“. Konzept 3 ist eine lüftungstechnische Variante aus Unterflurabsaugung und konventioneller Unterdrucklüftung, bei der der Vorteil besteht, dass durch einen relativ konstanten

Unterflurvolumenstrom die Filterbelastung relativ konstant ist und somit eher das Wirkungsgradoptimum der verwendeten Filterart ausgenutzt werden kann. Konzept 3 nutzt ebenfalls den Effekt, durch eine konstante Filterbelastung (relativ gleich bleibender Volumenstrom) den Filter dauerhaft im verfahrenstechnischen Optimum betreiben zu können. Konzept 5 zeichnet sich in erster Linie durch die energetisch günstige Wirkung der Mischung warmer, aufbereiteter Stallluft mit unbelasteter, aber zur Winterzeit kalter Frischluft aus. Konzept 6 zielt auf eine Senkung des Konzentrationsniveaus der belastenden Bestandteile im Stall durch die Anwendung von „Staub-, Ammoniak- oder Geruchsfallen“. Der Vorteil der Konzepte 3 bis 6 liegt vor allem in ihrer Wirkungsentfaltung im Stall, die damit eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen für den Menschen und der Lebensbedingungen für das Tier bewirken.

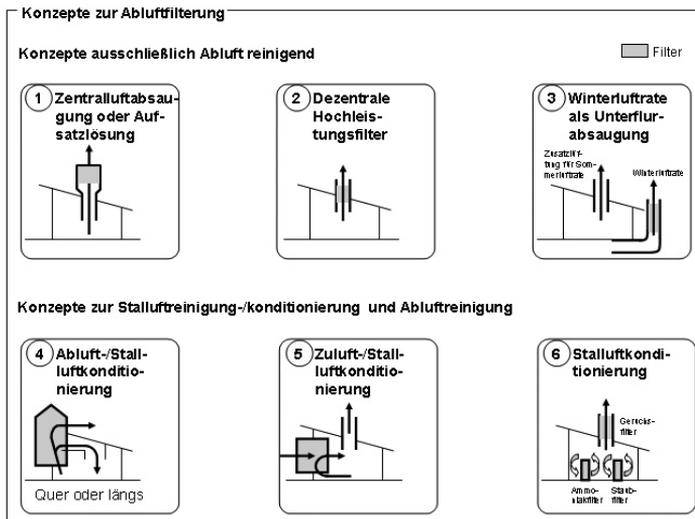


Abb. 2: Theoretische Konzepte zur Nachrüstung von Filtertechnologien in der Intensivtierhaltung am Beispiel Schwein

#### 4 Ausblick

Im Rahmen der weiterführenden wissenschaftlichen Arbeit werden zwei Varianten der technischen Umsetzung von Konzept 6 im Hinblick auf folgende Fragenstellungen untersucht:

- 1) Was können diese Nachrüstsysteme als Stallluftkonditionierer im Sinne einer Emissionsminderung des Gesamtsystems Stall leisten?
- 2) Welche Bedeutung kann diesem Konzept genehmigungstechnisch eingeräumt werden?
- 3) Welchen Effekt auf die Belastung mit lungengängigen Partikeln kann im Stall nachgewiesen werden?
- 4) Welche Optimierungspotenziale ergeben sich durch verbesserte Nutzung der physikalischen Zusammenhänge?

Über die ersten Ergebnisse wird nach Verifizierung zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.

## 5 Literatur

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.07.2002, GMBI (2002), S. 201–206.

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG), letzte Änderung vom 06.01.2004, BGBl I (2004).

SCHIRZ, S. (1970): Zum Thema „Immissionsschutz“: Versuch der Geruchsbeseitigung, Landtechnik, H. 21, S. 672–673.

RIEMANN, U.; MISSFELD, B. (1975): Gerüche aus der Stallabluft – wie kann man sie vermindern?, Landtechnik, H.1, S. 32–33.

SCHIRZ, S. (1975): Abluftreinigungsverfahren in der Intensivtierhaltung, KTBL-Schrift 200, S. 150–151, S. 168–174.



## Effect of vegetable oil waste added on composting of goat manure and wheat straw

### *Einfluß von gebrauchtem Pflanzenöl auf die Kompostierung von Ziegenmist und Stroh*

RECEP KÜLCÜ, OSMAN YALDIZ

Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Akdeniz University, TR-07070 Antalya.

**Keywords:** Composting, vegetable oil waste, goat manure

**Schlüsselwörter:** Kompostierung, gebrauchtes Pflanzenöl, Ziegenmist

### **Abstract**

*Aerobic composting is the decomposition of organic substrates in the presence of oxygen. The main products of biological metabolism are carbon dioxide, water, and heat. The substrate is one of the most important factors on composting. Substrate related factors are carbon-nitrogen ratio (C:N), particle size, oxygen availability, aeration, moisture content and pH.*

*In this study, determination of optimum mixture ratio of goat manure, wheat straw and vegetable oil wastes for composting was investigated. According to the results, the mixture in the R5 gave higher degradation of organic matter and process temperature value. Thus, optimum mixture ratio for composting of these materials is 47.5 % goat manure, 47.5 % wheat straw and 5 % oil wastes.*

### **Zusammenfassung**

*Aerobe Kompostierung bedeutet die Zersetzung des organischen Materials bei Anwesenheit von Sauerstoff. Die wesentlichen Produkte der biologischen Umsetzung sind Kohlendioxid, Wasser und thermische Energie. Das Substrat ist einer der wichtigsten Faktoren bei der Kompostierung. Substrat abhängige Faktoren sind das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C:N), die Partikelgröße, Verfügbarkeit von Sauerstoff, Belüftungsrate, Wassergehalt und pH-Wert.*

*Ziel der vorliegenden Studie war es, das optimale Mischungsverhältnis von Ziegenmist, Stroh und Pflanzenöl für die Kompostierung zu bestimmen. Die stärkste Degradation des organischen Materials und höchste Prozeßtemperaturen ergab der Ansatz im Bioreaktor R5. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Mischung von 47,5 % Ziegenmist, 47,5 % Stroh und 5 % Öl am besten zur Kompostierung dieser Materialien geeignet ist.*

## 1 Introduction

The mismanagement of solid municipal and agricultural wastes is growing the environmental problems all over the world. As a result of economic growth and rising standards of living, the variety and amounts of wastes have increased which lead to rise in the cost of treating and disposing. Both biogas and composting processes minimize the environmental damage and provide economically valuable products from the organic wastes (KÜLCÜ and YALDIZ, 2004). Composting is the biochemical degradation of organic materials to a sanitary, nuisance-free, humus-like material. Oil wastes contain high percentages of biodegradable organic matter compared to other wastes. Chemical characteristics of oil wastes are not suitable for composting because of their high carbon content when it is used alone (SASAKI et al., 2003). The number of Turkey's live goat stock was 7,000,000 in the year of 2003 (FAO, 2004). Goat manure is very rich in terms of nitrogen content, so it could be used as nitrogen source in composting process.

## 2 Material and Methods

Goat manure, wheat straw and oil wastes were used as experimental materials. These wastes were mixed at three different ratios to determine optimum mixture ratio (Tab. 1).

Tab. 1: Mixture ratios of the experimental materials in composting reactors (dry basis)  
*Mischungsverhältnisse der Materialien in den Fermentern (Trockenmasse)*

Reactor	Goat Manure (%)	Wheat Straw (%)	Waste Oil (%)
R5	47.5	47.5	5
R10	45	45	10
R20	40	40	20

The heat generated in the compost process is a result of microbial metabolism and the accumulation of the heat energy retained within the composting mass. Temperature was also the main factor in this study to ease and extend the composting conditions. There were three temperature probes inside one reactor fixed at the middle of it with equal spaces and measured data with 30 min intervals. CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> rate was measured by digital waste gas analyzer at the three different points of each reactor. Organic material content (OM), pH and moisture content were measured daily. Moisture content of the experimental material was analyzed by drying oven method at 105 °C. No water was added during the composting process. Organic substrate content of the material was measured by burning in an oven at 550 °C for 5 h.

The organic matter (OM) was calculated according to the following equation (NAVARRO et al., 1993):

$$W_{105} = \text{Oven dry weight of mass at } 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$W_{550} = \text{Furnace dry weight of mass at } 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Loss of OM was calculated from the initial and final volatile solid contents, according to the following equation (HAUNG, 1993);

$$k = \frac{[OM_m(\%) - OM_p(\%)]100}{OM_m(\%)[100 - OM_p(\%)]}$$

where  $OM_m$  is the OM content at the beginning of the process and  $OM_p$  the OM content at the end of the process.

$k$  (OM loss) characteristics of compost and its raw materials were subjected to a one-way analysis of variance to test for significant differences. All analyses were performed using SAS statistical package (SAS, 1995).

Three cylindrical reactors were constructed with plastic material and isolated with glass wool. Its dimensions were 0.35 m in height and 0.25 m in diameter. The aeration period was 15 min in 1 h and adjusted by timers. The composting process took 15 days.

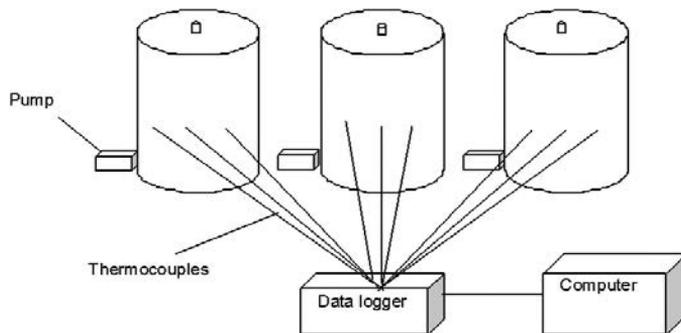


Fig.1: Composting system  
Darstellung des Versuchsaufbaus zur Kompostierung

### 3 Results and Discussions

The temperature regime of all composting reactors at different mixture rates is illustrated in Figure 2. While composting process reached a temperature of 58 °C after 2 days in R5, only 52 °C were reached in the same time in R10. Temperatures in reactor R20 remained even lower than within R5 in these 2 days. The temperature regime was higher in R5 than in the others during the active composting period. However, there were no significant differences in temperature regime among all composting reactors after 10 days.

The moisture contents of the samples were decreased continuously during composting (Figure 3). Initial moisture content of the waste mixtures varied between 63–65 % (w. b.). Moisture contents of compost materials were declined gradually in all reactors during composting process. The final moisture content was the lowest in R5 and R10 and the highest R20.

Because of the mineralization of organic matter in the substrate,  $CO_2$  production occurs (DIAZ et al., 2002). Figure 4 shows the results of the mean  $CO_2$  and  $O_2$  changes inside the each reactor.  $CO_2$  rate increased and  $O_2$  rate decreased in all reactors in proportion to microorganism activity during the process.  $CO_2$  rate was higher in R20 than the others.  $CO_2$  rate was increased after first 2 days and decreased after 6 days in R5 and R10.  $O_2$  rate of reactors decreased but these values were not below 10 % in all reactors during the composting process.

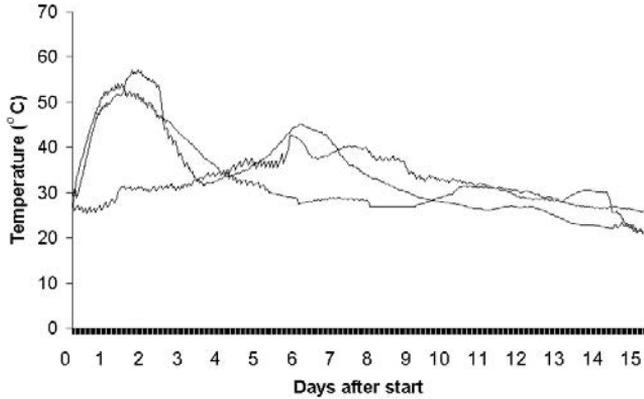


Fig. 2: Temperature changes in all reactors during composting process  
*Temperaturverlauf in den Reaktoren während des Kompostierungsprozesses*

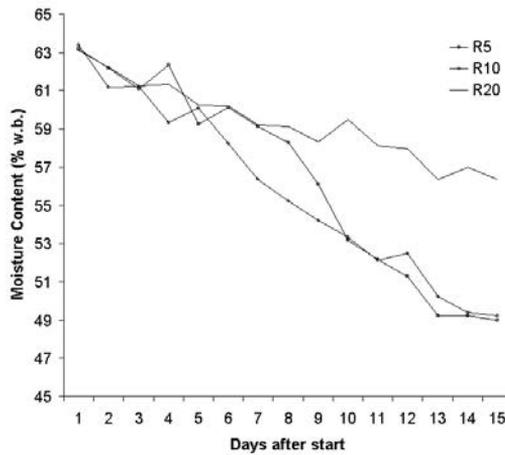


Fig. 3: Moisture content changes in mixtures during composting  
*Abnahme des Wassergehaltes in den drei Ansätzen während der Kompostierung*

The pH values of materials decreased to 4–6 at the 4th days and then increased to pH 6–8. The pH values of R20 were below than others during the process. This reduction could be caused by higher ratios of oil acids in R20. There was no evident difference between the pH values of R5 and R10 during the whole composting process (Figure 5).

Organic substrate content of the materials decreased in all reactors during the process, but this rate was faster in R5 than the other reactors (Figure 6). While organic matter loss (k) was calculated as 57 % at R5 at the end of the process, it was 53 % and 47 % for R10 and R20, respectively.

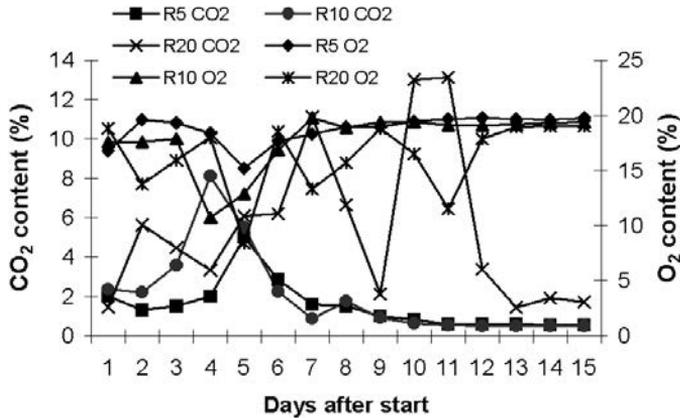


Fig. 4: CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> rate changes in the reactors during composting  
 Änderung des CO<sub>2</sub>- und O<sub>2</sub>-Gehalts in den Reaktoren während der Kompostierung

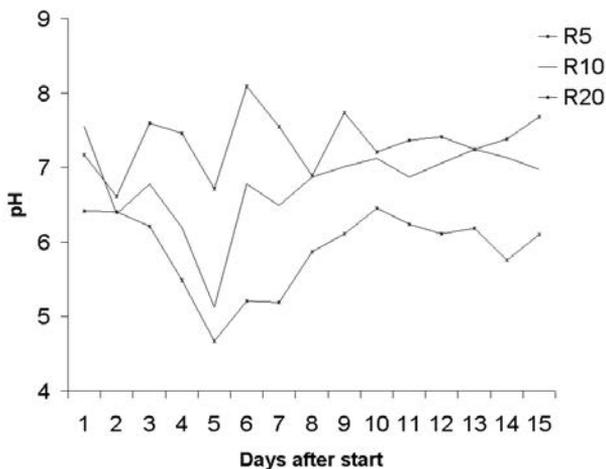


Fig. 5: Materials pH value development during process  
 Verlauf des pH-Wertes im Kompostmaterial während der Umsetzung

The differences between  $k$  (OM loss) values were statistically important according to the results ( $P < 0.05$ ) (Tab. 2). As a result, maximal organic loss was observed in R5.

Tab. 2: OM loss ( $k$ ) of mixtures at the end of composting process and statistical analyses results  
 Verlust an organischem Material ( $k$ ) während des Kompostierungsprozesses

	R5	R10	R20
$k$ (OM loss %)	57a ± 0,57	53b ± 0,58	47c ± 1,04

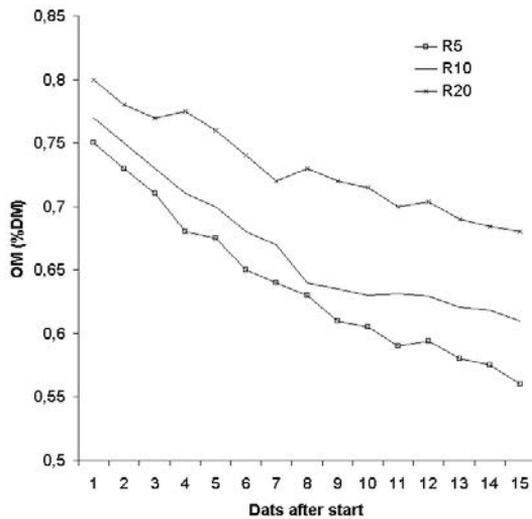


Fig. 6: Organic matter content changes in mixtures during composting  
*Abnahme des Gehalts an organischem Material während der Kompostierung*

#### 4 Conclusions

According to the results, R5 gave higher organic matter degradation and process temperature. Process characteristics of R10 and R20 showed that the vegetable oil waste ratio were higher than optimum values. So, optimum mixture ratios for composting of experimental materials is 47.5 % goat manure, 47.5 % wheat straw and 5 % oil wastes.

#### 5 References

DIAZ, M. J.; MADEJON, E.; LOPEZ, F.; LOPEZ, R.; CABRERA, F., 2002. Optimization of the rate vinasse/ grape marc for co-composting process. *Process Biochemistry* 37, 1143–1150.

FAO, 2004. <http://www.fao.org>. FAOSTAT- Agriculture.

HAUNG, R. T., 1993 *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

KÜLCÜ, R.; YALDIZ, O., 2004. Determination of Aeration Rate and Kinetics of Composting Some Agricultural Wastes. *Bioresource Technology*, V 93, I:1, pp. 49–57.

NAVARRO, A. F.; CEGARRA, J.; ROIG, A.; GARCIA, D., 1993. Relationships between organic matter and carbon contents of organic waste. *Bioresource Technology* 44, 203–207.

SAS. 1995. *SAS System for Windows, Release 6.11*. Cary, NC: SAS Institute.

SASAKI, N.; SUEHARA, K.; KOHDA, J.; NAKANO, Y.; YANG, T. 2003. Effects of C/N ratio and pH of raw materials on oil degradation efficiency in a compost fermentation process – *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Volume 96, Issue 1, 2003, Pages 47–52.

## Reduction heat stress and ammonia emission in slovak animal housing *Reduktion von Hitze-Stress und Ammoniak-Emissionen in slowakischen Stallungen*

JAROSLAV ŠOTTNÍK

Research Institute for Animal Production, Nitra, Slovakia

**Keywords:** animal housing, heat stress reduction, ammonia emission in SK

**Schlüsselwörter:** Stallungen, Reduzierung von Hitzestress, Ammoniakemissionen in der Slowakei

### Summary

*Reduction of heat stress in housing facilities for animal husbandry is necessary under the conditions of continental climate and at frequent extremes. It is time to use non-traditional building and construction methods, e.g. the principle of evaporation-adiabatic cooling in the production environment, the technique of increased air movement.*

*Reduction of ammonia emissions in animal husbandry in SK is in specific position at present. Current production of  $\text{NH}_3$  from the entire animal husbandry is approx. 25 kt, it represents approx. 20 kt  $\text{NH}_3$  from large farms for the year 1999.*

*In principle, direct technological reduction is possible, e.g. by temperature, air movement, absorption in air washer, bio-filters, control of pH value, control of proteins in animal nutrition; some construction arrangements.*

### Zusammenfassung

*Bei kontinentalem Klima mit häufigen Extremwerten ist die Reduzierung von Hitzestress in Anlagen zur Tierhaltung zwingend erforderlich. Es ist daher an der Zeit von traditionellen Bauten und Bauweisen abzuweichen und z. B. das Prinzip der evaporations-adiabatischen Kühlung für die Produktionsumgebung zu nutzen, eine Technik erhöhter Luftbewegung.*

*Die Reduktion von Ammoniakemissionen aus Tierhaltungsanlagen in der Slowakei findet sich zur Zeit in einer speziellen Situation. Die derzeitige  $\text{NH}_3$ -Produktion der gesamten Tierhaltung beträgt ca. 25 kt, für große Agrarbetriebe betrug sie 1999 rund 20 kt.*

*Prinzipiell ist eine direkte Reduktion technisch machbar, z. B. über Temperatur, Luftbewegung, Absorption an Luftwäschern, Biofilter, Kontrolle des pH-Werts, Kontrolle des Eiweißgehalts der Tiernahrung, verschiedene konstruktive Maßnahmen.*

## 1 Reduction of Heat Stress

Animal housing and bioclimatological processes are functionally dependent. Their functional dependence is a system:

**Climatic Environment – Animals – Housing Conditions**

All processes are derived from physiological and production optimization of microclimate parameters and their effectiveness kept in different calculations in climatical regions. These climatical conditions must be purpose modified.

These processes are under economical pressure, or ability of farmers using investment means for modernisation of housing systems in building and technological equipment for improving microclimate, air moving (air speed) and receiving microclimatical environment with reduced heat stress conditions.

At standard conditions of weather it is necessary to modify in continental course of weather the differences in air temperature-its change during the year 50–60 K (from –20 –25 °C –30 °C to 30 °C (35 °C). Requirements are changed if we take the border state and it is –25 °C in winter to +30 °C or 35 °C in summer, what is possibly indicated as extremely microclimatical conditions.

Further deviation in course of weather are increasing requirements for modification of extreme microclimate, which have negative influence on physiological function of animals and their production and possibility of the farm animals to adapt for these conditions on health or mortality of broilers and so on.

Those principles derived from thermoneutrality of animals are valid in summer and winter periods, specified differences are given as optimal zones, which must be kept in economical zones by means of building and technological solutions.

If extreme course of weather is over in permit zones or limits reductions are necessary with not typical condition with untraditional equipment (for higher air moving – air velocity-aeration ventilation, air fogging cooling).

## 2 Reduce the Heat Stress

Possibilities to reduce the heat stress in different technological and construction as well as climatic conditions depend on the course of outer parameters of microclimate that are markedly affected by the starting climatic change in the last few years.

Heavy extreme variations of air temperature have negative impact on production level, quality of production, state of health.

In our conditions also is known mortality mainly in poultry breeding – broiler chickens, particularly towards the end of fattening if heavy temperature extreme occurs.

### 3 Need of Cooling in Housing

Theoretical need of cooling in housing of animals is in homoiotherms called forth for reasons of prevention of heat stress and its consequences, starting from the mechanisms of heat liberation in different heat-moisture conditions, and consequences of unfitting conditions are shown, i.e. if the reduction of feed intake takes place with restriction of metabolic heat.

It is a very negative reaction from the viewpoint of economy and production; production is reduced.

The upper critical temperature is the basis for settlement of animal needs that can be newly defined by THI.

Basic processes and means of cooling in buildings for animals – barns, in our conditions, are defined.

### 4 Technique of Reduction

Technological and construction analysis of systems of thermal load reduction in stables is a part of the whole process to define new view on the problems of thermal load reduction in our climatic conditions.

Individual species and categories of animals necessitate detailed analysis of individual applied techniques.

One of the potential systems is the technique of reduction by increased air movement up to  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Reported values were measured in a part of the experimental building.

It is necessary to re-evaluate the disposition and details from the viewpoint of equability of air movement in the whole requisite zone, on one hand, and disposition of the used technique and its technical parts, on the other, to provide increased air movement.

### 5 Ammonia Emission in Slovak Animal Housing

Development of the state of ammonia emission depends decisively on staff of farm animals, which was more reduced from 1990 to 1998, cattle about 50 %, dairy cows to 47 %, other cattle to 52 %, all pigs were reduced by about 33 %, poultry about 11 %.

In 1999 was the same tendency with further reduction in farm animals. Dairy cows were reduced by about 3.5 %, other cattle by about 7.13 %; in sow was reduction by about 0.6 %, fattening pigs were reduced 2.1 %. In hens was reduction by 6.8 %, in broilers by about 6.45 %, poultry together by about 6.63 %. In 1999 was declared the decreasing animal staff only in goat and sheep, together by about 4.4 %.

In Slovakia was significantly reduced the ammonia emission absolutely and relatively, too, if we compare the references year 1990 with compared years 1998 and 1999.

It is compared with UN-ECE scenario too. In 1990 was in SK produced about 47 kt  $\text{NH}_3$  per year. During next time we reduced the production markedly to 27 kt  $\text{NH}_3$  in 1998; if it was calculated precisely-end staff of farm animals were ammonia emission only 25.7 kt  $\text{NH}_3$ . In UN-ECE scenario was proscribed for SK 39 kt, reality in SK was lower by about 12 kt, or about 13.3 kt per year.

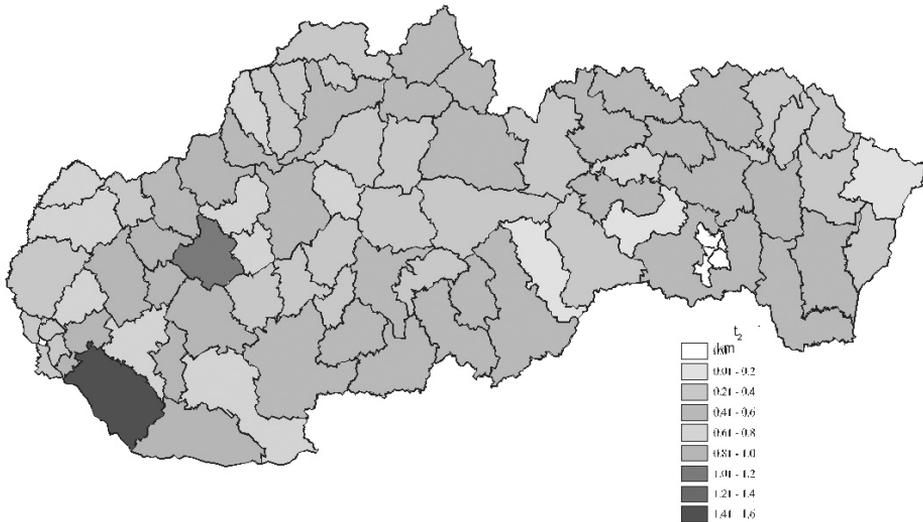
From whole ammonia balance was 16.2 kt produced in large scale farms, consisting of a number of production centres, in co-operatives or other economical forms at present (private form of production farms etc.). In year 1999 was for all animal staff in SR 24.7 kt NH<sub>3</sub>; from registered farm was emission in this year only 20.7 kt NH<sub>3</sub>. Difference are at present 4 kt NH<sub>3</sub> per year. Specific emission in SK is in present time for whole animals staff 0.503 t NH<sub>3</sub>.km<sup>-2</sup>, from registered farm was only 0.422 t NH<sub>3</sub>.km<sup>-2</sup>.

In reference year 1990 was specific emission 0.959 t NH<sub>3</sub>.km<sup>-2</sup>; in Holland was in this time specific emission 7 t NH<sub>3</sub>.km<sup>-2</sup>; The change of animal housing systems and manure treatment and their application system is the way which gives the possibility to reduce ammonia in transformed animal production in the Slovak agriculture.

This process needs more investment means which are probably not possible receiving in our agriculture at present time.

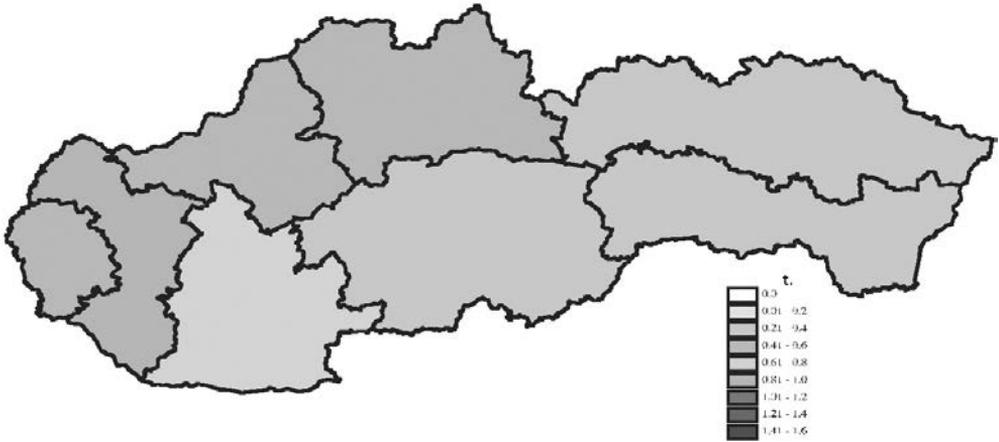
Emission of ammonia from animal husbandry in SK are shown in maps of emissions in district and counties. They were elaborated for all animal species, and separately for large-scale farms that are decisive for total balance of emission in SK (map 1–3)

**Ammonia emission from all farm animals  
in SR in individual districts**



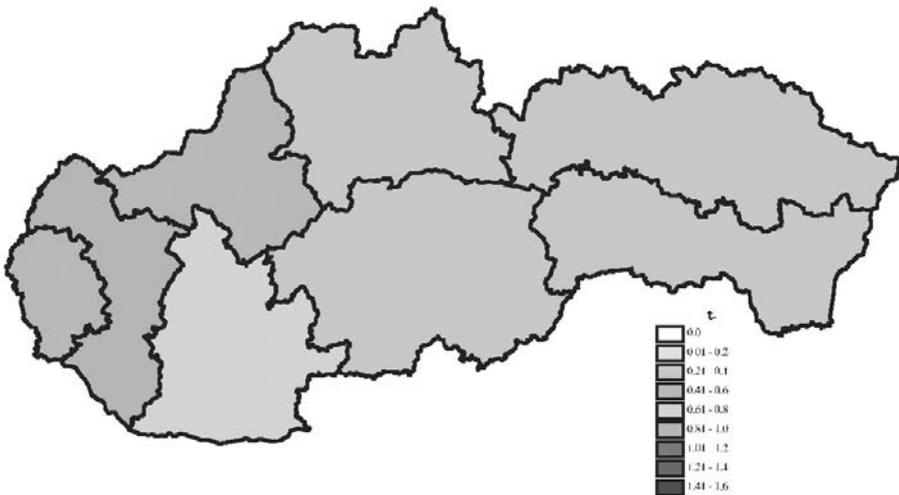
Map 1

Ammonia emission from all farm animals  
in SR in individual region



Map 2

Ammonia emission from large  
in SR in individual region



Map 3



## **Evaluierung von numerischen Modellen zur Ermittlung von Emissionen aus landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen** *Evaluation of numerical models for dertermination of emissions from agricultural animal husbandry*

**EDUARD WENSAUER, STEFAN NESER, FRIEDHELM SCHNEIDER, ANDREAS GRONAUER**

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Str. 36, D-85354 Freising

**Schlüsselwörter:** Evaluierung, numerische Simulation, Sensitivitätsanalyse, Rasterbegehung, austal2000-g  
**Keywords:** Evaluation, numerical Simulation, sensitivity analysis, grid measurement, austal2000-g

### **Zusammenfassung**

*Durch die Umsetzung des im Anhang 3 der TA-Luft beschriebenen Partikelmodells gewinnt die numerische Simulation auch im landwirtschaftlichen Bereich an Bedeutung.*

*Mit Hilfe einer Evaluierung soll geprüft werden, welche Anwendungsgrenzen und -einschränkungen sich bei der Simulation von Emissionen aus landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen ergeben. Dies geschieht anhand einer Sensitivitätsanalyse und Vorhersage-Validierung.*

*Neben umfangreichen Vergleichsrechnungen werden zudem Naturdaten in Form einer Rasterbegehung erhoben.*

*Ziel der Untersuchung stellt die Aufdeckung von sensitiven Eingabe- und Randparametern dar, um eine einheitliche und objektive Verwendung des Ausbreitungsprogramms austal2000-g im landwirtschaftlichen Bereich sicherzustellen.*

### **Summary**

*Due to the implementation of the dispersion model described in the third appendix of the German Technical Instruction on Air Pollution Preventing (TA-Luft 2002) the numerical simulation gains in importance in the agricultural sector.*

*By means of a evaluation it should be tested, which limitations and restrictions occur whilst the application in the simulation of emissions from agricultural animal husbandry.*

*Therefore a sensitivity analysis and a forecast validation are carried out. In addition to extensive comparison computations also a grid measurement is carried out to gain field-data.*

*The intention of the project is to detect sensitive input and boundary parameters to ensure an uniform and objective application of the dispersion model austal2000-g in the agricultural sector.*

## 1 Einführung und Problemstellung

Die Anwendung von numerischen Simulationen bei Genehmigungsverfahren von landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen gewinnt durch die Neufassung der TA-Luft 2002 und die Umsetzung des im Anhang 3 beschriebenen Partikelmodells an Bedeutung.

Im Vergleich zu aufwändigen und kostenintensiven Naturmessungen führt die Anwendung des Partikelmodells *austal2000-g* in Verbindung mit meteorologischen Zeitreihen mit relativ geringem Aufwand und wenigen Eingaben zu Ergebnissen, die zuvor nur durch eine Kombination von Messungen, Rechnungen und meteorologischem Fachwissen zu erhalten waren.

Diese Vorteile der numerischen Simulation bergen aber folgende Gefahren:

- Ergebnisse werden überbewertet
- Modelleinschränkungen werden nicht erkannt
- wenige Eingabeparameter verstellen den Blick auf komplexe Zusammenhänge bei Ausbreitungsvorgängen
- unkritische Übernahme von Ergebnissen
- Richtigkeit der Ergebnisse wird automatisch angenommen.

Um solche Fehlinterpretationen zu vermeiden, bedarf es an Fachwissen, welche Anwendungsgrenzen vorliegen, welche Aspekte in der Berechnung nicht berücksichtigt werden und welche Fehler sich aus der numerischen Methode ergeben, die hinter der anwenderfreundlichen Benutzeroberfläche implementiert wurde.

Nach BRITTER (1994) zeigt sich die Qualität eines Modells an ihrer „fitness for purpose“. Es gibt daher keine guten und schlechten Modelle, sondern nur solche, die für eine Situation geeignet oder ungeeignet sind. Zur Überprüfung der Qualität des Programms *austal2000-g* wird eine Evaluierung, wie sie den wissenschaftlichen Quellen beschrieben wird, durchgeführt. Sie findet dabei unter den Rahmenbedingungen statt, die bei der Anwendung im landwirtschaftlichen Umfeld zu erwarten sind.

Nach HANNA et al (2003) ist es nicht möglich, numerische Modelle umfassend zu validieren. Dies liegt zum einen an den unendlich vielen Anwendungsfällen, zum anderen an den Schwankungsbreiten in der Natur. Dies führt zu einer Komplexität, die in der Simulation nicht nachgebildet werden kann. Daher werden die Ergebnisse immer mit Unsicherheiten verbunden bleiben.

HANNA et al. (2003) sprechen sich dafür aus, Eingangsvariablen und Randparameter in die Bewertung mit einzubeziehen, damit ausgeschlossen werden kann, dass richtige Werte aufgrund falscher Annahmen erzielt werden („right answer for wrong reason“, HANNA et al. 2003 Seite 26).

Bisher existieren für die Landwirtschaft und deren typischen Emissionssituationen noch keine oder nur unzureichende Qualitätsstandards bezüglich der numerischen Simulation. Dies erschwert die Vergleichbarkeit, Transparenz und Bewertung bisheriger und zukünftiger Ergebnisse speziell auf der Ebene der Genehmigungsbehörden.

## 2 Ziel

Ziel dieser Untersuchung ist es, eine Evaluierung durchzuführen, die aufzeigt, welche Ergebnisschwankungen bei der Anwendung des TA-Luft-Modells *austal2000-g* im landwirtschaftlichen Bereich auftreten können. Durch den Vergleich der Rechenergebnisse untereinander

und mit Messdaten aus Rasterbegehungen sollen die Vorgaben der TA-Luft in Bezug auf die Simulation an die Situation in der Landwirtschaft angepasst werden.

Zusätzlich sollen Qualitätsstandards für die Verwendung von numerischen Modellen im Rahmen der Genehmigungsplanung definiert werden. Durch eine Rückkopplung wird zudem die Vorgehensweise geprüft und notwendige Änderungen und Erweiterungen eingebaut.

### 3 Vorgehen

Beim Vorgehen wird auf die Ausführungen von BORREGO et al. (2003) zurückgegriffen. Als Überbegriff für die Bewertung von Qualität und Eignung von numerischen Modellen wird **Evaluierung** verwendet. Diese unterteilt sich in fünf Stufen:

- Verifikation,
- Validierung,
- Sensitivitätsanalyse,
- Unsicherheitsanalyse,
- Modell-Vergleiche.

Im Rahmen dieser Untersuchung finden eine Validierung und eine Sensitivitätsanalyse statt.

#### 3.1 Validierung

Nach VDI 3788/Blatt1 ergeben sich vier unterschiedliche Validierungsformen:

- Vorhersage-Validität,
- Kriteriums-Validität,
- Inhalts-Validität,
- Konstrukt-Validität.

In der Untersuchung wurde die Vorhersage-Validierung gewählt. Hierbei handelt es sich um den Vergleich von berechneten Daten mit Messdaten (Naturdaten/Windkanal).

Dabei stellt die Festlegung von geeigneten Kriterien zur Bewertung der Modellierungsergebnisse einen wesentlichen Punkt dar. In Anlehnung an die Darstellung von BORREGO et al. (2003) dienen als Kriterien:

- Vorhersagequalität der maximalen Konzentration,
- Vorhersagequalität der Überschreitungshäufigkeiten von Grenz- und Schwellenwerten,
- Vorhersagequalität von Konzentrationsschwankungen in Zeit und Raum,
- Vergleich von simulierten mit gemessenen Werten.

Dadurch entstehen zum einen Anforderungen an die Validierungsdatensätze, zum anderen ergeben sich Unsicherheiten, mit denen eine solche Validierung verbunden ist.

Dabei setzt sich die Unsicherheit, mit denen Modellergebnisse behaftet, sind aus folgenden Parametern zusammen:

- Unsicherheiten in der Modellphysik,
- Unsicherheiten im Vergleichsdatensatz,
- Numerische und statistische Unsicherheiten.

### 3.2 Sensitivitätsanalyse

Dieser Schritt der Evaluierung klärt in Betrag, Richtung und Art (linear oder nicht-linear), den Einfluss von Eingabeparametern auf das Ergebnis der Simulation.

JACOB et al. (1999) sprechen sich für die Durchführung von Sensitivitätsanalysen aus, um anhand der Ergebnisse feststellen zu können, welchen Einfluss vereinfachte Annahmen und vernachlässigte Parameter auf das Simulationsergebnis (Über- oder Unterbewertung) ausüben.

Die hier durchgeführte Sensitivitätsanalyse des nach TA-Luft anerkannten Modells austa2000-g gliedert sich in drei Phasen. In einer ersten Phase werden Modellrandparameter und deren Einfluss auf das Simulationsergebnis untersucht. In der Phase II stehen Gebäudeeinflüsse im Vordergrund. Abschließend erfolgt in der Phase III eine Betrachtung der Emissionsrandparameter (Situationsabhängigkeit und zeitliche Variation).

## 4 Material und Methode

### 4.1 Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden die Stoffe Staub (pm100), Ammoniak und Geruch untersucht. In der Phase I werden die horizontalen Gitterweiten (10 x 10; 15 x 15; 20 x 20 und 10 x 20 x 40 Meter), die Quelltypen (Punkt-, Volumen-, Flächen- und Linienquelle), die Rauigkeitslänge ( $z_0 = 0,1; 0,2$  und  $0,5$ ) und die vertikalen Gittergrößen variiert.



Abb. 1: Lage der Beurteilungspunkte  
*Position of the evaluation points*

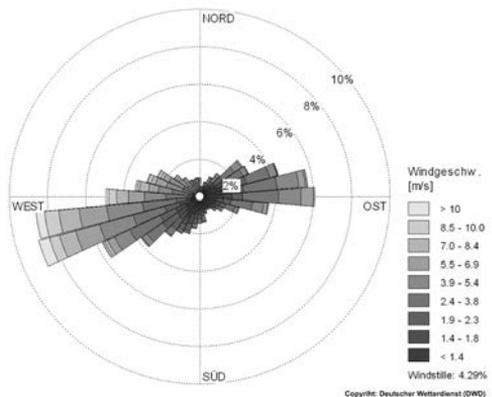


Abb. 2: Verwendete Windrichtungsverteilung  
*Wind direction distribution*

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Lage der Beurteilungspunkte für die Auswertung der Ergebnisse. Abbildung 2 zeigt die den Rechenläufen zugrundegelegte Windrichtungsverteilung.

Die Sensitivitätsanalyse erfolgt mit Hilfe eines Rechnerpools bestehend aus 25–100 Rechnern. Bisher wurde mit den austa2000-g-Versionen 2.1.4, 2.1.5 und 2.1.6 (übersetzt mit dem GNU-C-Compiler 3.2 für Windows) gerechnet. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse

sicherzustellen, wird geprüft, ob die aktuelle Version analoge Ergebnisse zur Vorgängerversion liefert.

## 4.2 Rasterbegehung

Für die Vorhersage-Validierung werden die Naturdaten in Form von Rasterbegehungen nach VDI 3940/1 an einem Bullenmastbetrieb (Außenklimastall) im Landkreis Erding erhoben. Es handelt sich dabei um einen freistehenden Außenklima-Tretmiststall (Länge 60 m, Breite 20 m) mit Querlüftung und offenem First, der für 180 Mastbullen konzipiert ist.

Der Begehungsplan und die Lage der Rasterpunkte wurde auf die vorgefundene Vegetationsstruktur abgestimmt. Der erste Teil der Begehung wurde zwischen der 31. KW und 45. KW durchgeführt. Eine weitere Begehung ist für das Frühjahr 2005 geplant.

Die Datenerfassung erfolgt anhand der MF3 Begehungssoftware der Firma ECOMA, die auf handelsüblichen Pocket-Loox600 der Firma Fujitsu Siemens betrieben wird. Die Markierung der 60 Rasterpunkte im Feld erfolgte mit Hilfe eines GS5 der Firma LEICA. Die Größe der 16 Rasterflächen beträgt 20 x 20 Meter.

Die Eignungstests der 16 Probanden wurden mit Hilfe eines TO8 der Firma ECOMA nach DIN EN 13527 durchgeführt.

Während des Begehungszeitraums wurden an mehreren Terminen Geruchsproben aus der Stallung entnommen, die anschließend olfaktometrisch untersucht wurden.

Zur kontinuierlichen Erfassung der Außenklimaparameter auf dem Versuchsbetrieb wurde eine Wetterstation (Firma Thies, Göttingen) gemäß VDI 3786 mit Windgeschwindigkeitsgeber, Windrichtungsgeber, Thermometer, Hygrometer sowie Pyranometer installiert. Der Mittelungszeitraum für Windgeschwindigkeit und Windrichtung umfasst 10 Minuten.

## 5 Ergebnisse

Da die Phase I der Sensitivitätsanalyse noch nicht abgeschlossen ist, können hier noch keine endgültigen Ergebnisse dargestellt werden.

Es lassen sich aus den bisher vorliegenden Vergleichsrechnungen folgende Tendenzen für den Geruch erkennen, die mit weiteren Rechenläufen abgesichert werden müssen.

Der Einfluss der getesteten Parameter ist in der Einzelbetrachtung zum Teil gering. Dennoch treten in der Summe an den Beurteilungspunkten Schwankungen vom 1,4 bis 2,8-fachen auf. An den meisten Beurteilungspunkten lagen die Schwankungen im Schnitt beim 1,6 bis 1,8-fachen.

In der Phase I erscheinen derzeit die Parameter Rauigkeitslänge und Quelltyp als die sensitivsten Einflussfaktoren mit dem größten Einfluss auf das Simulationsergebnis. Dabei liefern die Punktquellen im Vergleich zur vertikalen Linienequelle, der Flächenquelle und der Volumenquelle die geringste Konzentration, jedoch nimmt der Unterschied mit steigender Rauigkeitslänge ab.

Während bei Punktquellen die Überschreitungshäufigkeiten mit steigen der Rauigkeitslänge ansteigen, werden im Fernfeld bei Flächen- und Volumenquellen bei größeren Rauigkeitslänge auch geringere Konzentration erreicht.

Ein geringer Einfluss lässt sich derzeit bei Variation der Gitterabstände in horizontaler und vertikaler Richtung erkennen.

Es zeigt sich zudem, dass die Schwankungen von der Windrichtungsverteilung und dem Abstand zur Quelle abhängen.

Die Implementierung des neuen diagnostischen Windfeldmodells (Version 2.1.5) lieferte bei ersten Vergleichsrechnungen mit Geländeeinfluss nahezu identische Ergebnisse.

## 6 Ausblick

Die ersten Ergebnisse lassen bereits erkennen, dass zum Teil wesentliche Unterschiede in Abhängigkeit der Eingabeparameter auftreten. Daher erscheint es in der Zukunft unablässig, die Auswahl besonders sensibler Parameter in der Ausbreitungsrechnung ausreichend zu begründen. Vereinfachung und Standardisierungen sind kritisch zu prüfen.

Zudem müssen im Genehmigungsverfahren sämtliche Eingangsparameter und deren Herleitung offen gelegt werden, um eine einheitliche und objektive Verwendung des Ausbreitungsprogramms austal2000-g im landwirtschaftlichem Bereich sicherzustellen.

## 7 Literatur

BORREGO, C.; SCHATZMANN, M.; GALMARINI, S. (2003): Quality Assurance of Air Pollution Models, In: Moussiopolous, Nicolas (Ed.), Air quality in cities, SATURN EUROTRAC-2 Subproject Final Report, Springer Verlag, Thessaloniki.

BRITTER, R. E. (1994): The Evaluation of technical models used for major-accident hazard installation, Report EUR 14774 EN, Brussels.

HANNA, S. R.; CHANG, J.; BRITTER, R.; NEOPHYTOU, M. (2003): Overview of Model Evaluation History and Procedures in the Atmospheric Air Quality Area, In: [http://www.qnet-cfd.net/newsletter/5th/n5\\_26-28.pdf](http://www.qnet-cfd.net/newsletter/5th/n5_26-28.pdf), Network Newsletter Volume 2 No. 1, April 2003.

JACOB, J.; LOHMEYER, A.; SCHIESS, N. (1999): Praxis der Berechnung und Bewertung von Gerüchen im Nahbereich niedriger Quellen in Sachsen, In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 59, Nr. 9, Seite: 357–361, September.

Janicke Consulting, (2003): Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz, UFOPLAN Forschungskennzahl 200 43 256, AUSTAL2000; Programmbeschreibung zu Version 1.0, Stand 2003-02-09, Dunum, Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin.

# Stand und Perspektiven der ISO-Standards für Tiererkennungssysteme

## *State of the art and perspectives of the ISO standards for animal identification systems*

RUDOLF ARTMANN

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** ISO 11784, ISO 11785, ISO 14223, Transponder, Tiererkennung  
**Keywords:** ISO 11784, ISO 11785, ISO 14223, animal identification, transponder

### **Zusammenfassung**

*Elektronische Tiererkennungssysteme sind die Schlüsseltechnologie für die Automatisierung Einzeltier bezogener Prozesse in der Tierhaltung. Hierfür existieren die Standards ISO 11784 (Struktur des Codes) und ISO 11785 (technische Spezifikation der Systeme einschließlich Kommunikation). Aufgrund von Anforderungen aus EU-Ländern wurde die Codestruktur vor kurzem um je ein Feld für die Nachkennzeichnung bzw. landesspezifische Informationen erweitert (Amendment zu ISO 11784).*

*Künftige Transpondergenerationen weisen größere, wieder beschreibbare Speicher, integrierte Sensoren, Antikollisions- und/oder Schutzmechanismen für unerlaubte Manipulation bzw. nicht statthaften Zugriff auf. Hierfür wird derzeit der Standard ISO 14233 erarbeitet. Er gliedert sich in die drei Teile: Interface, Protokollstruktur und Applikation. Der derzeitige Stand dieser Standardisierung wird im Beitrag dargestellt und eigene eingebrachte Vorschläge werden erörtert.*

### **Summary**

*Electronic animal identification systems are the key technology for the automation of single animal specific processes in animal husbandry. For this the standards ISO 11784 (structure of the code) and ISO 11785 (technical specification of the systems including communication) exist. Due to requirements from European Union countries the code structure was extended recently by one field each for the retagging of animals and for state-specific information (Amendment to ISO 11784).*

*Future transponder generations exhibit read/write memory, integrated sensors, Anti-collision and/or protective mechanisms for bad manipulation and/or not permitted access. For this the standard ISO 14233 is compiled at present. It is divided into the three parts: Interface, protocol structure and application. The present state of the work of this standardization process and own brought in suggestions are discussed.*

## 1 Einführung

Elektronische Tiererkennungssysteme sind bei der Automatisierung immer dann unverzichtbar wenn es darum geht, einem Einzeltier eine spezifische Behandlung (Futter, Wasser, Sortierung, usw.) zukommen zu lassen oder von ihm direkt oder indirekt Daten zu erfassen. Derzeit werden in den landwirtschaftlichen Betrieben noch häufig Transponder der ersten Generation, die aus diskreten Bauteilen aufgebaut sind eingesetzt. Immer mehr Firmen haben aber in den Halsband-Transpondern mittlerweile ISO 11784/85 konforme Hardware integriert.

Der Halsband-Transponder hält sich so hartnäckig, weil er

- aufgrund des höheren Preises einen höheren Umsatz für die Firmen sicherstellt. Im Klartext heißt dies, die Firmen haben von sich aus gar kein Interesse die preiswerteren Ohr-Transponder anzubieten und
- Ohr-Transponder hatten in der Vergangenheit unzureichende Leseabstände.

Die Tatsache, dass mancher Hersteller in seinem Halsband-Transponder z.B. nur ein 32 mm langes Glasinjektat integriert hat alleine beweist schon, dass sie auch wissen, dass die Leseabstände von ISO-konformen Transpondern mittlerweile den Anforderungen der Praxis genügen. Es erfordert nicht desto trotz Druck von Seiten der Anwender auf die Hersteller, damit diese auch die preiswertere Technologie anbieten.

Die beiden Standards ISO 11784 und ISO 11785 sorgen dafür, dass einerseits der einem Tier zugewiesene Code weltweit einmalig ist und andererseits mit ISO-konformen Lesegeräten die Transponder auch überall gelesen werden können. Es spielt für das Lesen prinzipiell keine Rolle, ob der Transponder außen (z. B. am Ohr) oder innen (z. B. Bolus, Injektat) angebracht wird. Eine lebenslange Kennzeichnung der Tiere wurde möglich. Seit kurzem sind geringfügige Modifikationen beim Standard ISO 11784 zu beachten.

Seit längerer Zeit sind auch Transponder mit beschreibbarem Speicher oder integrierten Sensoren erhältlich. Doch diese Systeme sind derzeit nur mit den firmenspezifischen Lesegeräten zu betreiben. Damit auch für diese und noch leistungsfähigere Transponder der herstellerunabhängige Betrieb möglich wird und diese zudem zu denen der ersten Generation kompatibel bleiben, wird seit längerem an einem Standard für so genannte fortschrittliche (advanced) Transponder (ISO 14223) in TC23/SC19/WG3 gearbeitet. Die Arbeiten sind mittlerweile so weit fortgeschritten, dass die Struktur des neuen Standards klar zu erkennen ist. Damit sich die Anwender mit den Möglichkeiten vertraut machen können, werden die Grundfunktionen von ISO 14223 nachfolgend beschrieben.

## 2 Änderung an ISO 11784

ISO 11784 gilt seit 15.05.1994 (erste Fassung) und hat letztes Jahr nachfolgend noch näher erklärte Nutzungsänderung durch Amendment 1 erfahren. Die gesamte Codestruktur von ISO 11784 ist eingebettet und eine Gesamtstruktur, die ISO 11785 vorgibt. Derzeit gilt der in Abb. 1 dargestellte Datenrahmen für die Übertragung des Tiercodes zu einem Lesegerät. Der rot markierte Bereich zeigt die Änderungen durch Amendment 1 auf:

ISO 11785 Datenstruktur (Anzahl Bits: 112 (HDX), 128 (FDX))											
Kopf		ISO 11784						CRC	Anhang		
Bit	1	Amendment			Nou	Bitnummer		Bit	Bit		
11 (FDX) 8 (HDX)	1	2 to 4	5 to 9	10 to 14	16	17-26	27-64	15	24		
Reserviert für Anhang	Master Transponder	Field ID Parameterkombinationen Anzahl Nachkennzeichnungen			Kategorie, Nummer, ID von	Master Anhang enthält Daten	ISO 3168 Numerischer Ländercode	Nationaler Identifikationscode	Reserviert für FDX	Reserviert für FDX	
		Markiert advanced Transponder									

Abb. 1: Neue Code-  
struktur für ISO 11784

- Die Bits 2–4 aus dem bisher reservierten Feld werden als Zähler für die Anzahl der Nachkennzeichnungen genutzt. Bei der Erstkennzeichnung enthält der Zähler den Wert 0. Damit kann der „Nationale Identifikationscode“ auch bei Nachkennzeichnungen unverändert bleiben, es bleibt aber kontrollierbar, wie oft ein Tier einen Transponderwechsel, aus welchen Gründen auch immer, erfahren hat.
- Die Bits 5 bis 9 sind für länderspezifische Anwendungen reserviert. Sie dürfen nur benutzt werden, wenn in den Bits 17 bis 26 der ISO-Ländercode eingetragen ist. Innerhalb der EU sollten diese Bits einheitlich nach noch festzuschreibenden Regeln genutzt werden, doch dies ist leider nicht im Standard festgeschrieben. Da jedoch die Änderungen durch das Amendment auf EU-Wünsche zur Einführung elektronischer Kennzeichnungssysteme zurück gehen, sind die EU-Staaten gut beraten, diese Bits ausschließlich nach noch zu definierenden EU-Regeln zu nutzen.
- Werden Die Bits 5 bis 9 nicht genutzt sind sie ebenso wie die Bits des jetzt verkürzten reservierten Bereiches (10 bis 14(15)) auf „0“ zu setzen.

Es ist zu beachten, dass der in Abb.1 gelb markierte Bereich noch nicht im Standard 11784 definiert ist, aber ab sofort als Markierungsbit für einen advanced Transponder genutzt werden soll. Bei der nächsten Modifikation von ISO 11784 (z. B. beim periodischen Review) sollen alle Änderungen in den Standard aufgenommen werden. Mit der Nutzung von Bit 15 für advanced Transponder und Bit 16 für Nutzung des Anhangs ist eine eindeutige, kompatible Zuordnung gewährleistet.

### 3 Der künftige Standard ISO 14223

Der neue in Bearbeitung befindliche neue ISO-Standard wird für Transponder entwickelt, die nicht nur dem Tier eine eindeutige Nummer zuweisen, sondern auch als Datenspeicher und/oder als Messwerterfassungssystem nutzbar sind. Darüber hinaus bietet er Möglichkeiten der Kommunikation auch wenn mehrere Transponder im Aktivierungsfeld sind (Antikollisionsmechanismus) sowie Funktionen vor Veränderungen schützenswerter Inhalte und bietet Möglichkeiten zur Zugriffsregelung.

#### 3.1 Aufbau und prinzipielle Funktionsweise

Das Zusammenwirken von Lesegerät und Transponder mit der Anwendung sowie die Zuordnung der Standards zu den Geräten bzw. der Applikation sind in Abb. 2 dargestellt. Der advanced Transponder bleibt nach wie vor passiv und benötigt keinen Mikrocontroller. Dafür wird das Lesegerät etwas leistungsfähiger. Es muss die Umsetzung der Anforderungen der

Anwendung zur Kommunikation zum Transponder bewerkstelligen. Bezieht man den neuen ISO-Standard für die Vernetzung von Computersystemen in der Landwirtschaft mit ein, hat das Lesegerät die Funktionalität von zwei Standards ISO 14223 und ISO 17532 zu erfüllen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass ISO 14223 nur logische Funktionalitäten für das Lesegerät festlegt.

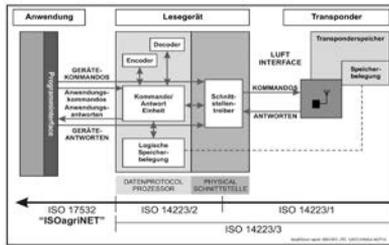


Abb. 2: Zusammenarbeit von Lesegerät und Transponder mit der Anwendung sowie Zuordnung relevanter ISO-Standards

### 3.2 Das Interface Lesegerät-Transponder (ISO 14223 Teil 1)

In Abb. 3 ist der zeitliche Ablauf bei der Kommunikation nach dem bisherigen Standard (ISO-11785-Mode) und nach dem neuen Standard 14223 dargestellt. Alle Transponder verhalten sich, wenn sie erstmalig aktiviert werden, wie Standard ISO-11785-Transponder. Das heißt, zunächst wird wie bisher der ISO-11785-Code gelesen und damit die Tiernummer ermittelt.

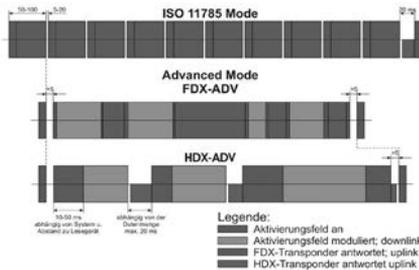


Abb. 3: Zeitverhalten der Transponder in den verschiedenen Betriebsmodi

Da advanced Transponder Bit 15 auf „1“ gesetzt haben, kann bereits bei der ersten Lesung festgestellt werden, ob der gelesene Transponder neuen Typs (advanced) ist. Ist dies der Fall, wird für mindestens 5 ms die Aktivierungsfrequenz abgeschaltet und erneut aktiviert. Ab diesem Zeitpunkt wird für den Advanced Mode für FDX- bzw. HDX-ADV Transponder unterschiedlich verfahren. Bei FDX-ADV wird nach einer kurzen Verzögerung sofort in den Advanced Mode geschaltet. Dies geschieht durch ein spezielles Umschaltkommando oder einfach durch das speziell codierte SOH am Beginn des Kommunikationsrahmen (s. Abb. 4). Der nachfolgende Inhalt des Kommandos gibt dem Transponder einen Auftrag. Diesen arbeitet der Transponder ab und schickt die geforderte Information zum Lesegerät. Während der gesamten Kommunikation im Advanced Mode bleibt das Feld aktiv und wird entweder vom Lesegerät (Downlink) oder vom Transponder(Uplink) moduliert. Mehrere Aufträge können unmittelbar hintereinander abgearbeitet werden. Der HDX-ADV Transponder benötigt zunächst eine Ladezeit. Während dieser Zeit kann der Leser bereits feststellen ob ein FDX-Transponder im Feld ist. Ist das nicht der Fall kann jederzeit in den Advanced Mode

geschaltet werden. Dazu wird nach der Ladezeit das Aktivierungsfeld mit dem gewünschten Kommando moduliert. Nach dem Kommando wird die Aktivierungsfrequenz abgeschaltet und die Transponderantwort abgewartet. Dieser Vorgang kann sich beliebig oft wiederholen. Der Advanced Mode wird verlassen, wenn der Transponder das Aktivierungsfeld verlässt oder für mindestens 5 ms aus dem Aktivierungsfeld abgeschaltet bleibt.

### 3.3 Die Protokollstruktur (ISO 14223 Teil 2)

Die Kommunikationsstruktur für den neuen Standard ist weitgehend an ISO 1800-2 angelehnt. Damit wird es möglich, gleiche Hardware für kommerzielle Anwendungen wie auch für die Tiererkennung zu verwenden, was Kostenvorteile verspricht. Jeder Datenrahmen sowohl für Down- als auch für Uplink beginnt mit SOH und EOF, Abb. 4. Beides sind speziell codierte Bit-Kombinationen. Alle Übertragungen sind durch einen 16 Bit langen CRC gesichert. Als Kommandos stehen Schreib-/Lese-, Konfigurierungs-, Schreibschutz- und Zugriffsbefehle zur Verfügung. Auch können Systeminformationen abgerufen und gesetzt werden. Eine neue Eigenschaft ist die Kommunikation bei Kollision. Von einer Kollision spricht man, wenn sich zwei oder mehrere gleichzeitig im Feld befindliche Transponder stören. Nach dem neuen Standard muss das Lesegerät Kollisionen erkennen können. Ist eine solche vorhanden, kann in einen speziellen Mode geschaltet werden und dabei jeder im Feld befindliche Transponder gelesen werden. Dies kann eine wertvolle Hilfe sein, wenn mehrere nahe zusammenstehende Tiere erkannt werden sollen.

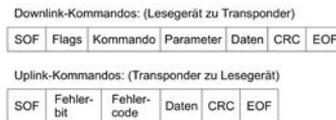


Abb. 4: Vorgesehener Kommunikationsrahmen bei ISO 14223 Teil 2

### 3.4 Die Anwendungen (ISO 14223 Teil 3)

Die Ausarbeitung von Teil 3 ist noch nicht sehr weit fortgeschritten, so dass nachfolgend nur der derzeitige Diskussionsstand vorgestellt werden kann. Man strebt zunächst an, dass jede im Transponder gespeicherte Information (als Item oder Entität) zunächst in einer Datenbank gemäß bzw. in Anlehnung an ISO 11788 gespeichert werden soll. Diese Datenbank soll weltweit verfügbar und über das Internet jederzeit zugänglich sein; die Einrichtung einer eigenen Arbeitsgruppe für eine gemeinsame Datenbank für WG1 bis WG3 wurde auf der letzten SC 19-Sitzung vorgeschlagen und soll realisiert werden. In dieser Datenbank wird jedem Objekt eine Erkennungsnummer (Objektidentifizierer [OID]) zugeordnet. Kennt man die OID, kann man aus der Datenbank Bezeichnung, Formatierung und einiges mehr erfahren. Für häufig benutzte Informationen soll sogar der Speicherplatz im Transponder aus der Datenbank hervorgehen. Der Transponderspeicher ist in einen System- und Nutzerbereich unterteilt und enthält immer die Daten für ISO 11785 in fest vereinbarten Speicherblöcken, Abb. 5. Wie mit den Sensordaten im Transponder verfahren wird, ist bisher noch offen. Der Autor empfiehlt eine sequentielle Ablage mit eigenem Verzeichnis. Items bzw. Entitäten, bei denen eine häufige Abfrage zu erwarten ist, sollen nachzeitigem Diskussionsstand auf festen Adressen und damit direkt adressierbar abgefragt werden können. Nicht so oft benötigte Informationen



# Elektronische Tierkennzeichnung von Rindern – Praktische Anwendungsbereiche von „mobile Computing-Lösungen“ als Management- und Informationshilfen in der landwirtschaftlichen Tierhaltung

## *Electronic tagging of cattle – practical use of “mobile computing solutions” for comprehensive management information systems in animal agriculture processing*

JOHANNES BRINKMANN, DIRK ALBERS

Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w. V., Heideweg 1, D-27283 Verden (Aller)

**Schlüsselwörter:** Datenmanagement, Elektronische Tierkennzeichnung, Informationsmanagement, Mobilfunktechnologie, mobile computing, RFID, XML

**Keywords:** *Data management, electronic tagging, Information management, mobile computing, RFID, XML*

### **Zusammenfassung**

Elektronische Verfahren der Tierkennzeichnung und -identifizierung sowie der Aufbau von umfassenden Managementinformationssystemen (Datenverbund- und Expertensysteme) unter standardisierten Bedingungen, können einen erheblichen Beitrag dazu leisten Rationalisierungsreserven in der Landwirtschaft zu nutzen. Darüber hinaus lassen sich die gesellschaftspolitischen Forderungen hinsichtlich einer artgerechten Tierhaltung und einer hohen Qualität der erzeugten Nahrungsmittel – einschließlich der Dokumentation – bei gleichzeitig schonenderer Nutzung von Umweltressourcen effizienter erfüllen. Das vorgestellte System „ITEK-Rind“ verdeutlicht eine Anwendung im inner- wie im überbetrieblichen Daten- und Informationsmanagement. Weiterentwicklungen in den Bereichen der RFID (Radio Frequency Identification) und moderner leistungsfähiger Datentransfermöglichkeiten (WLAN) werden zukünftig die mobile Datenkommunikation fördern und zunehmend im Themenumfeld Produktrückverfolgbarkeit und elektronischer Dokumentation Anwendung finden.

### **Summary**

Electronic procedures of animal marking and identification as well as the construction of comprehensive management information systems (data-network- and expert-systems) under standardized conditions, can achieve a considerable contribution to using rationalization reserves in agriculture processing. Socio-political demands can be fulfilled more efficiently with regard to an adapted animal keeping and a high quality of food production – including documentation – at simultaneously milder use of environmental resources. The introduced system “ITEK” presents an application in farm internal and farm-wide data management.

## 1 Einleitung

Negativschlagzeilen über landwirtschaftliche Produkte sowie verbraucherpolitische Forderungen hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit landwirtschaftlicher Produktion (gläserne Produktion/Dokumentation/Transparenz) haben neben den agrarpolitischen Rahmenbedingungen (GAP-Fläche und GAP-Tier) in der Vergangenheit zu einer Vielzahl von freiwilligen Vereinbarungen und gesetzlichen Vorgaben geführt. Diese bedeuten sowohl für den Landwirt wie auch für andere Teilnehmer in der Produktions- und Vermarktungskette einen hohen Mehraufwand im Bereich des betrieblichen und überbetrieblichen Datenmanagements. Dabei wachsen die Anforderungen an die Qualität des Datenmanagements auf allen Ebenen stetig an. Zusätzlich zu den betriebswirtschaftlich wichtigen Kennzahlen müssten vornehmlich Daten über die Einhaltung einer ordnungsgemäßen, umweltverträglichen und nachhaltigen Landbewirtschaftung, über artgerechte Versorgung und Haltung der Tiere sowie für die Sicherung der Produktqualität bereitgestellt werden. Dieses geht einher mit erhöhten Prüffrequenzen von administrativen und privatrechtlichen Kontrollinstanzen und einem erhöhten Verwaltungsaufwand in landwirtschaftlichen Organisationen und Behörden.

Die Vielzahl an politischen Forderungen, freiwilligen Vereinbarungen und gesetzlichen Regelungen haben in vielen Bereichen zu sog. Teil- oder Insellösungen des betrieblichen und überbetrieblichen Datenmanagements geführt. Diese funktionieren teils manuell, teils elektronisch, wobei die Sicherheit, d. h. die Vollständig- und Richtigkeit der Datenerhebung, des -transfers, der Datenbearbeitung und -archivierung ebenso wie die Kommunikation zwischen den Insellösungen nicht oder nicht immer gegeben ist.

## 2 Anforderungen an ein übergreifendes Informationsmanagementsystem

Informationsmanagementsysteme oder auch Datenverbundsysteme basieren i. d. R. in der heutigen IT-Welt auf sehr heterogene Hard- und Softwarekomponenten. Sollen die Welten der unterschiedlichen Plattformen (Windows, Unix, Main-Frame etc.), Datenbanken (Oracle, Adabas, MySQL, Informix etc.) und Übertragungsmöglichkeiten (Internet, Mobilfunk, WLAN) in Einklang gebracht werden, um dezentralisierte Daten für ein effektives Managementsystem zusammenzuführen, wird dieses in vielen Fällen mit proprietären Lösungen realisiert, die immer nur mehr oder weniger umfangreiche Teilbereiche im interoperativen Umgang abdecken können.

Das Projekt ITEK-Rind (Informationssystem Rind) verfolgt neben der Bereitstellung von aggregierten Daten für Managementzwecke im Tierbereich, ebenso Lösungsansätze zur Realisierung von Interoperabilität, Kohärenz und Flexibilität bei der Anpassung von Softwaresystemen anzubieten (BODMER und HORVÁTH 2002).

*Interoperabilität:* ITEK-Rind kann als „offene“ Systemlösung eingestuft werden. Über eine entsprechende Middleware-Plattform kann eine völlig plattform- (Main-Frame, herkömmliche Serversysteme) und datenbank unabhängige (z. B. Adabas, Oracle etc.) Kommunikation realisiert werden.

*Kohärenz und Flexibilität:* Bei der konventionellen Speicherung von Daten werden alle Informationen, die zu einem Objekt gehören, in einem Datensatz gespeichert. Jeder Datensatz setzt sich somit aus einer festen Anzahl von Feldern zusammen. Da i. d. R. für jeden Objekttyp andere Daten gespeichert werden, unterscheiden sich die Datensatzstrukturen der

einzelnen Objekttypen. Im Projekt ITEK-Rind wird diese Problematik umgangen. Grundkonzept ist es, die festen Datenstrukturen aufzubrechen und in eine Form zu überführen, die es erlaubt, Strukturänderungen nicht durch Programmierung, sondern durch Administration, d. h. Konfiguration vornehmen zu können. Auch die Programmabläufe auf den mobilen Endgeräten (PDA-Thin-Client-Applikationen) werden nicht mehr programmiert, sondern ebenfalls durch reine Konfiguration bestimmt.

### 3 Architektur der Datenintegration des ITEK-Rind-Systems

Ein Applikations-Server ist das dynamisch administrative Bindeglied zwischen der Datenquelle (hier Main-Frame VIT oder HI-Tier) und dem Thin-Client. Stellt der Thin-Client eine XML – Anforderung, ruft der Applikations-Server nur noch eine bestimmte Methode auf, die die Anforderung nach vorheriger Berechtigungsprüfung beantwortet. Der Thin-Client ist ebenfalls eine dynamische Softwarekomponente, die über den Applikations-Server konfiguriert werden kann (s. o.). Der Client ermöglicht gleichzeitig einen Datenaustausch im Upload und Download Verfahren. Der innerbetriebliche Datentransfer vom Client auf den Betriebs-PC kann auf herkömmlichen Wege über eine Docking-Station oder über ein WLAN-Netzwerk erfolgen. Der überbetriebliche Datentransfer zu externen Datenbanken und Informationssystemen erfolgt via Internet unter Einbindung der WLAN- und Mobilfunktechnologie (siehe Abb. 1).

### 4 Elektronische Tierkennzeichnung und ITEK-Rind

Der Nutzen der elektronischen Tieridentifizierung liegt nicht allein in der Sicherheit der Kennzeichnung allein (WENDEL et. al. 1998). Diese Art der Tierkennzeichnung ermöglicht die weitergehende Automatisierung von Tierhaltungsverfahren (Prozesstechnik). In Verbindung mit entsprechenden Datenbanken können ferner Managementhilfen zur Verfügung gestellt werden (SPILKE et. al. 2003).

Bereits im August 2003 wurden auf einem Rinderversuchsbetrieb der Landwirtschaftskammer Weser-Ems ca. 160 Muttertiere inklusive der Nachzucht mit elektronischen Ohrmarken versehen. Mit handelsüblicher Transpondertechnologie sowie Lesetechnologie nach ISO Standard, sollte untersucht werden, inwieweit sich die elektronische Tierkennzeichnung in das tägliche Datenmanagement und die Betriebsabläufe eines landwirtschaftlichen Betriebes integrieren lassen (s. Tabelle 1).

Tab. 1: Gerätespezifikationen für Ohrmarken und Lesegerät

Gerät	Firma und Typbezeichnung
Elektronische Ohrmarke	Fa. Allflex Europe GmbH HDX HP1 Ultra / 134,2 kHz LOM programmiert (read only) und aufgedruckt
Mobiles Lesegerät	Fa. Texas Trading Gerätetyp HL-01
Wiegeeinrichtung mit Ringantenne	Fa. Texas Trading Eigenbau

Zeitgleich wurde eine korrespondierende Client-Server-Technologie für einen datenbank-übergreifenden Datenaustausch entwickelt und im VIT (Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w. V.) installiert (siehe Abbildung 1). Im Wesentlichen sollte durch das Vorhaben eine Qualitätsverbesserung und eine Erleichterung des betrieblichen und überbetrieblichen Datenmanagements durch a) Reduktion von Registrier- u. Meldefehlern, b) verbesserte Reaktionszeiten, c) Aufwandsreduzierung bei der Datenmeldung u. -übermittlung sowie d) optimierte Abstimmung von Prozessen erreicht werden.

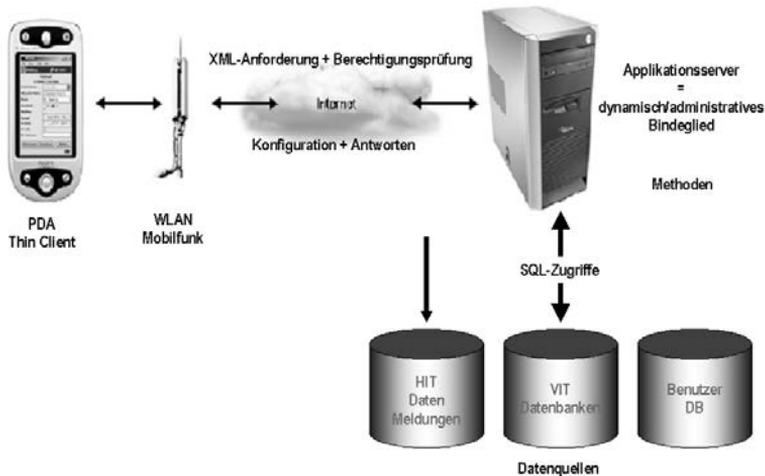


Abb. 1: Architektur Client-Server System ITEK-Rind

Zur Zeit befindet sich das Projekt ITEK-Rind in einer umfangreichen Testphase. Mit der verwendeten Technologie ist eine sichere fehlerfreie Tieridentifizierung möglich. Mit Hilfe von Handlesern wie auch mit großflächigen stationären Lesegeräten wird die Transponderinformation (hier die 15-stellige Ohrmarkennummer – identisch mit der Sichtohrmarke) ausgelesen und direkt im Thin-Client (PDA) abgelegt. Es sind Einzel-Lesungen wie auch Gruppen-Lesungen durchführbar. Nach Zwischenspeicherung der Ohrmarkennummer können verschiedene Transaktionen vorgenommen werden:

- Kommunikation mit der nationalen Rinderdatenbank HI-Tier (z. B. Abfrage von Tierpassinformationen, Versand von Bewegungsmeldungen, Todmeldungen, Ohrmarken-Nachbestellungen etc.).
- Kommunikation mit VIT internen Datenbanken (z. B. Abstammungsnachweis aus Herdbuchdaten, Leistungsübersichten zu laktierenden Tieren).

## 5 Ergebnisse

Alle Ohrmarken der gekennzeichneten Rinder wurden kontinuierlich mit einem mobilen Handlesegerät und mit einer stationären Ringantenne ausgelesen. Die Tabelle 2 zeigt, dass

alle Lesungen ohne Fehler durchgeführt werden konnten. Insgesamt wurde somit eine Erkennungsrate von 100 % erreicht.

Tab. 2: Erkennungsraten für elektronische Ohrmarken an 334 gekennzeichneten Tieren (August 2003 bis Juli 2004)

Reader	Anzahl Lesungen	Erkennungsrate (%)
Mobiler Handleser	5008	100
Stationäre Ringantenne	1180	100

In einem weiteren Versuchsansatz wurde ein Wiegekäfig zu einer Durchlaufwaage umfunktioniert. Über eine Versuchsdauer von 30 Tagen wurden die Milchkühe bei Weideaustrieb und Rückkehr zum Stall zwei mal täglich identifiziert und gleichzeitig gewogen. Hintergrund dieser Versuchsanordnung war, die Zuverlässigkeit des Auslesevorgangs bei Tieren zu prüfen, die sich in Bewegung befinden (Durchlauferkennung).

Innerhalb eines Versuchszeitraumes von 30 Tagen wurde bei dieser Versuchsanstellung eine Durchschnittliche Erkennungsrate von 98,41 % erreicht, d. h. nicht in jedem Falle konnte die Identifizierung durch die elektronische Ohrmarke erfolgen (siehe Abb. 2).

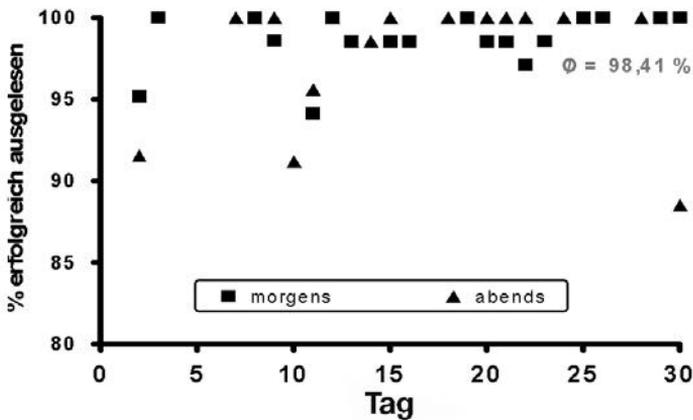


Abb. 2: Stationäre Durchlauflesungen im Monat Juni 2004 (95 Tiere; 5371 Lesungen)

Grundsätzlich lassen sich mit der angewendeten Technologie beliebige Daten unterschiedlicher Herkünfte verarbeiten und darstellen (Skalierbarkeit). Der Informationsaustausch findet direkt am Ort des Geschehens statt (just on demand). Durch die Einbindung in ein betriebliches WLAN-Netzwerk, können Meldungen wie auch Informationen direkt – ohne Brüche – vorgenommen bzw. zur Verfügung gestellt werden, so dass die Reaktionszeiten des Betriebsleiters sehr kurz gehalten werden können. Trotz dezentraler Datenquellen arbeitet das eingesetzte System sehr performant. In weiteren Ausbaustufen soll dieses System auch anderen Nutzergruppen wie Tierärzten und Beratungsorganisationen zur Verfügung gestellt werden. Die Einbeziehung der vorgestellten Technologie wurde ebenfalls in einem Schlachthof erprobt und erwies sich auch unter ungünstigen Bedingungen als zuverlässig und stabil.

## 6 Literatur

BODMER, U.; HORVÁTH, L.: „Gläserne Produktion“ von Fleisch unter Berücksichtigung von Informationstechnologien. Zeitschrift für Agrarinformatik, 2002, Bd. 4 S. 54–60.

SPIILKE, J.; BÜSCHER, W.; DOLUSCHITZ, R.; FAHR, R.-D.; LEHNER, W.: Precision Dairy Farming – integrativer Ansatz für eine nachhaltige Milcherzeugung. Zeitschrift für Agrarinformatik, 2003, Bd. 2 S. 19–5.

WENDL, G.; KLINDTORTH, M; KLINDTORTH, K.: Elektronische Kennzeichnungssysteme in der Rinderhaltung – Einsatz von injizierbaren Transpondern und Pansenboli. In (KTBL): Elektronische Tierkennzeichnung – KTBL-Fachgespräche am 29. Sept. 1998 in Veitshöchheim, KTBL, Darmstadt; S. 45–57.

## Call-recognition of farm animals to recognize animal conditions *Lauterkenner zur Bestimmung des Status von Nutztieren*

GERHARD JAHNS<sup>1</sup>, KLAUS WALTER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Technology and Biosystems Engineering, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Institute for Production Engineering and Building Research, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Keywords:** Call-recognizer, animal vocalization, Hidden Markov Model, sound analysis

**Schlüsselwörter:** Lauterkenner, tierische Lautäußerung, Hidden Markov Model, akustische Analyse

### Summary

*Call-recognition leads to a method to recognize animals state and condition. It is based on standard PC's and is a non invasive method.*

*Using the experience in speech recognition the Hidden Markov Model is used successfull within a system of recording, digitizing and (pre)processing calls of cows.*

### Zusammenfassung

*Die Lauterkennung ist ein methodischer Ansatz zur Bestimmung des Status und der Befindlichkeit von Tieren. Die Software ist für Standard PC's mit handelsüblichen Mikrofonen entwickelt und dass Abhören wird von den Tieren nicht wahrgenommen.*

*Das Hidden Markov Model wird erfolgreich in der Spracherkennung eingesetzt, und dessen Anwendung empfiehlt sich auch bei der Erkennung von Rufen der Rinder.*

## 1 Introduction and Objectives

In the course of evolution, animals evolved different means for species-specific communication. Sound is one of the most important means to express emotional states and conditions. Therefore understanding utterances from farm animals may serve as an efficient management tool to enhance animal health, welfare, and farm efficiency. The final goal is a Call-Recognizer, a device that automatically transcribes vocal utterances of animals to text meaningful to the farmer, at least to all humans. This would allow the farmer to monitor farm animals continuously without an additional workload. And because acoustic monitoring needs no contact, it does not interfere with the natural behaviour of animals. The costs of hardware to monitor herds of animals continuously are negligible, and the performance of today's common PC's is more than sufficient for this purpose. Moreover the hardware used for a call-recognition is also appropriate to monitor the technical equipment in a barn e. g. conveyors, augers, feeders. Methods to monitor machinery by its sound are state of the art in industry.

However for call-recognition appropriate software is not yet available. Therefore the following concentrates on the development of software able to understand utterances of a species and this independent for the individual animal. Such an animal independent call-recognition may be compared with speaker independent word spotting in speech recognition. To achieve this, the system must be able to spot utterances of distinct meaning and ignore all the other noise and utterances in the environment. It must recognize the utterance no matter which animal utters the call. The latter is important, because if the system would not be animal independent it would be necessary to train the system to the individual „pronunciation“ of each animal under control. This would be absolutely unacceptable for practical purposes.

## 2 Utterances of individuals

The „pronunciation“ of a word is never exactly the same even it is spoken by the same speaker and it is even more different, if the word is spoken by different speakers. This holds true also for utterances of any living being. Beside this inter- and intra-individual differences any utterance is technical spoken a non stationary signals, variable in time and frequency. That is the reason why common statistic methods are not efficient or fail in speech recognition [2, 3] and therefore also in call-recognition. Many efforts have been made in speech recognition to overcome this problem e. g. dynamic time warping. The most efficient method so far are the Hidden Markov Models (HMM). HMMs are double stochastic processes [1]. The results presented below, using cow utterances as an example, reveal that HMMs are well suited for call-recognition.

## 3 Methods

Figure 1 depicts the signal flow of an utterance. According the state or condition of the animal, its sensory system triggers a call sequence C. This causes in vertebrates to release pressurised air from the lungs through vocal cords, through resonance chambers – pharynx, mouth and nose cavities – and finally the radiation from the lips or nose. If the vocal cords are tensed the air will vibrate periodically according the tension and a voiced sound will be produced. If they

don't vibrate a voiceless sound is produced. The result is in all cases a pressure respectively density variation in the air, the call. The call is picked up by a microphone, which changes the pressure variation in corresponding varying electrical signals, which is amplified and digitized. By digital signal processing a call decoder produces a string of calls equivalences  $C$  that most likely represents the uttered string of calls. An interpreter transcribes the string of calls in a text, which most likely represents the state or condition of the animal  $W$ .

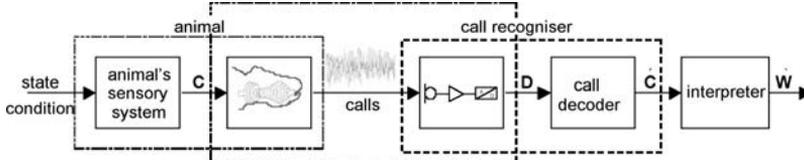


Fig. 1: Signal flow in call-production and call-recognition

*Signalfluss bei der Lauterzeugung und -erkennung*

$C$  = call sequence

$D$  = digital one-dimensional time series

$C$  = string of call-equivalences that most likely represents the uttered string of calls

$W$  = text that most likely represents the state or condition of the animal

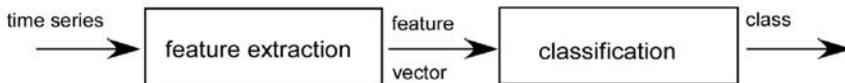


Fig. 2: Two major components of feature extraction and classification

*Zwei Hauptkomponenten der Bestimmung und Klassifikation von Eigenschaften*

Call- as well as speech-recognition is a pattern classification (Figure 2). The first step is to evaluate some representations of the input pattern. Therefore from the digitized signal of the call, which is a flow of numbers a one-dimensional time series, appropriate features have to be extracted, which characterize the call. These features are then classified. Each class represents a specific call.

Because any utterance is a non stationary signal, the features are not extracted from the whole call, but within successive windows which overlap (see Fig. 3). Thereby the call is changed in a time sequence of feature vectors. The size of the window has to be small, so the assumption can be made, that within each window the signal is stationary. The appropriate size of the window depends on the species. For example for speech a signal in a window of about 20–30 ms can be regarded as stationary. In general, the choice of feature vectors is one of the major issues in the study of pattern recognition. The general goal of feature extraction is on one hand to reduce the variability of features from examples belonging to the same class and on the other hand to increasing the variability of features from examples that belong to different classes. For the results presented below Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) with log. energy and their delta and acceleration coefficients have been chosen.

For every call or word a reference pattern has to be build. This is done in a learning phase (upper and right part of Figure 4). Calls represented by their reference vectors are stored in reference patterns. Simultaneously the system is informed about the meaning of each reference pattern. To cancel out inter- and intra-individual variations, all reference patterns with the

same meaning are summarized. To build up these reference patterns a data corpus, containing the records of known calls is indispensable. To recognize an unknown call (lower part of Figure 4), this call is pre-processed in the same way as the calls during learning phase. Its pattern, the sequence of its feature vectors is than compared with the stored reference patterns. The system determines the reference pattern which is most similar to the unknown one and outputs its meaning. One problem has to be mentioned: without special precautions the system will always produce a result, because it just chooses the most similar reference pattern.

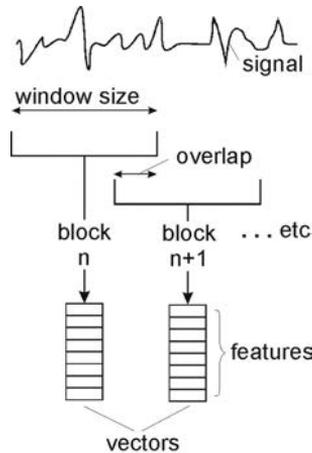


Fig. 3: Feature vector  
*Eigenschaftsvektors*

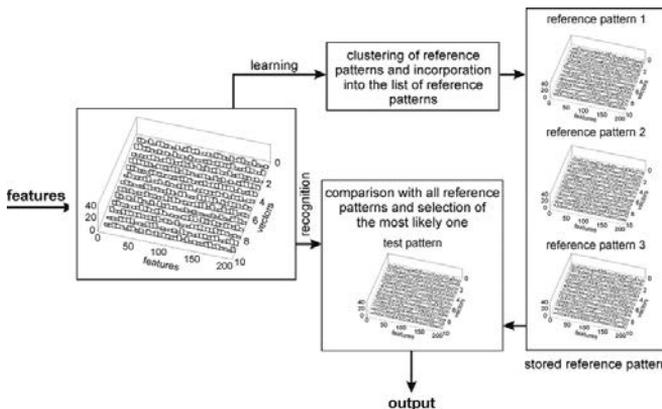


Fig. 4: Principle of call-recognition  
*Prinzip der Lauterkennung*

The number of training calls should be large and the meaning of every call must be known for training. This is a challenge for animal behaviourist. They must either be able to distinguish the calls because of their experience or they will have to conduct special tests to prompt the

animal to elicit calls with a special meaning. To establish a reliable data corpus of a sufficient size is a time consuming task which needs a lot of skill. As mentioned because of the inter- and intra-individual time variability of utterance of living beings, many statistical methods are not performing well or fail. The call production in vertebrates is very similar to speech production in humans, it is consequent to learn from speech recognition. Among all approaches in speech recognition Hidden Markov Models (HMMs) have proofed most efficient so far. Therefore they are also used here to build up a system for call-recognition. Hidden

Markov Models (HMMs) are a double stochastic process with  $N$  states and  $K$  outputs. They are defined by  $\lambda = (\pi, A, B)$ . The  $N$ -dimensional vector  $\pi$  defines the probabilities of the initial conditions. The transition probabilities are defined by  $N \times N$  dimensional parameter matrix  $A$ . The exit probability is determined by  $N \times K$  dimensional matrix  $B$ .

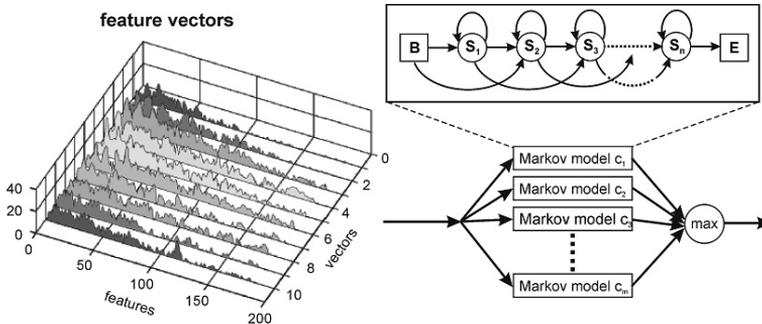


Fig. 5: Call-recognition using Hidden Markov Models  
Lauterkennung mittels Hidden Markov Model

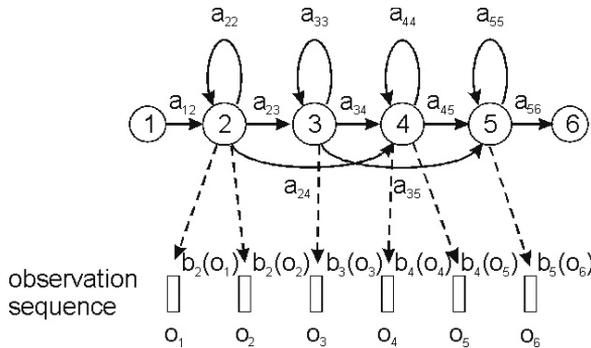


Fig. 6: Six state, six output left-right Hidden Markov Model  
Sechs gliedriges, beidseitiges Markov Model

Figure 5 and 6 show such a left-right model with 6 states. The states are labelled by integers. Loops returning to the same state model lengthening in time. Loops skipping a state model slur or skipping. For every call one HMM has to be designed and trained. In the recognition phase the sequence of feature vectors of the unknown call is compared with the output of each trained HMM. The call associated with the HMM of highest likelihood is declared to be the recognized call.



## Feasibility of electronic ear tags for identification and registration: the sheep and goat case *Durchführbarkeit von elektronischen Ohrmarken für Identifizierung und Registrierung am Beispiel von Schafe und Ziegen*

DOLF SMITS<sup>1</sup>, BERT IPEMA<sup>1</sup>, PIETER HOGWERF<sup>1</sup>, ERIK SCHUILING<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen UR, The Netherlands

<sup>2</sup> Animal Science Group, Wageningen UR, The Netherlands

**Keywords:** Identification, registration, RFID, ear tags

**Schlüsselwörter:** Identifizierung, Registrierung, RFID, Ohrmarken

### Summary

The requirements for an Identification and Registration system (I&R) for farm animals are mainly based on European legislation. It is essential for the husbandry in view of preventing the spreading of contagious diseases and in view of food safety. In the sheep and goat husbandry system, animal identification is based on ear tags with visual numbers. This system is not capable to perform a fast and complete tracking and tracing. Electronic identification of animals could be the basis of a system, which facilitates tracking and tracing.

The conclusion of the Dutch part of the IDEA project is that electronic ear tags for cattle could be applied to 100 % of the animals at a young age. Sheep and goats were not in the Dutch IDEA project therefore a research is made to investigate the practical value of electronic ear tags for sheep and goats. The technical feasibility of the electronic ear tags as well as all other devices for receiving and handling the electronic signals from the ear tags are studied.

### Zusammenfassung

Die Durchführbarkeit eines Identifikations- und Registrierungssystem (I & R) für landwirtschaftliche Nutztiere ist hauptsächlich basiert auf Europäische Gesetzgebung. Es ist wichtig für die Viehwirtschaft im Hinblick auf die Nahrungsmittelsicherheit und der Prävention des Verbreiten von Infektionskrankheiten. In der Schaf- und Ziegenhaltung ist die Tiererkennung basiert auf Ohrmarken mit visueller Nummer. Dieses System ist jedoch nicht ausreichend für ein schnelles und komplettes Tracking und Tracing. Elektronische Identifizierung von Tieren gibt eine gute Basis für ein modernes Tracking- und Tracingsystem.

Im Holländischen IDEA Projekt wurde festgestellt, dass elektronische Ohrmarken für die Identifizierung von Rindvieh bei 100 % der jungen Tiere angewendet werden können. Schafe und Ziegen wurden nicht betrachtet, daher wurde eine weitergehende Untersuchung mit elektronischen Ohrmarken für Schafe und Ziegen durchgeführt.

## 1 Introduction

The requirements for an Identification and Registration system (I & R) for cattle are mainly based on European and national legislation. The implementation of the I & R regulation is part of the Animal Health and Welfare regulation (Council Directive 98/58/EC). Identification and registration of cattle is essential in view of preventing the spreading of contagious diseases and in view of food safety. In the system, which is used today in The Netherlands, animal identification is based on ear tags with visual numbers and registration in farm registers. This system is not capable to perform a fast and complete tracking and tracing.

In an evaluation in The Netherlands it was concluded that the existing I & R system needed revision. A new I & R system should be based on three pillars: 1) individual identification, 2) central registration and 3) use of electronic identification means. The decision to use electronic ear tags in a new I & R system was the main reason to study the technical and financial feasibility of electronic identification. The use of electronic identifiers is in line with the conclusion of the IDEA project (RIBO et al., 2002). Important findings in the Dutch part of the IDEA project (SMITS et al., 2002) were that in cattle electronic ear tags could be applied to 100 % of the animals at a young age and that the identification with electronic ear tags fits in with the present practice. The use of electronic ear tags in pigs was also studied in The Netherlands (HUISKES et al., 2000). It was concluded that also in pigs electronic ear tags are technical no problem.

On behalf of the Dutch Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality the Institute Agrotechnology and Food Innovations and the Animal Sciences Group, both from Wageningen UR, carried out this study. The practical value of ear tags with transponder for identification and registration in sheep and goat was studied (SCHULING et al., 2004).

## 2 Materials and Methods

The use of radio frequency identification (RFID) equipment for sheep and goats was evaluated. Ear tags with a transponder and also (portable and static) transceiver equipment were studied.

Demands for the ISO11784/11785 electronic ear tags and transceiver equipment were distributed to the manufacturers of RFID equipment. The manufacturers were asked to make equipment available that could meet those requirements. The manufacturers made 13 tags with a transponder, 8 portable transceivers and 5 stationary transceivers available for the laboratory evaluation. During laboratory evaluations the RFID equipment was stressed with the requirements. The evaluated requirements for the tags were based on the diameter, weight, tractive force, reading range, suitability shape, price and the positioning of the transponder at the tags. For portable transceiver the reading range, the possibility of data input by a keyboard and the possibility of storing and exchanging data was analysed. In the end only one manufacturer was prepared to implement the portable transceiver software and menu that is required for the experiment. For static transceivers the reading range was an important selection criteria.

After the laboratory evaluation a selection of five tags was tested for four weeks in the first pilot experiment. This experiment focused on the tag losses and animal well being, reading equipment was not evaluated. Number of animals used in this experiment: 393 goat lambs

(on a fattening farm), 188 milk goats (one farm), 360 sheep lambs and 161 ewes (all on one farm). After the first experiment the manufacturers were consulted and confronted with the results of the experiment. They were asked to supply improved products. The five new tag types were again evaluated in the laboratory. After the laboratory acceptance these five tags with a transponder were together with one conventional tag type (the commonly used one on Dutch sheep farms) evaluated for losses and animal well-being aspects in a second four weeks practical pilot experiment. In this experiment 241 sheep lambs and 187 ewes of three different farms were used.

On the bases of the results of the second pilot from the five tags four were selected for the final experiment of nine months. In this farm experiment 2620 mature goats and 2383 goat lambs on 10 goat farms and 3319 ewes and 5623 sheep lambs on 21 sheep farms were used. One tag type is not used on adult sheep the three other ones are used for all species. The loss rates and the animal well being aspects were regularly checked. During this experiment the use of stationary reading equipment was evaluated.

### 3 Results and discussion

#### 3.1 Laboratory evaluations

In first instance the manufacturers supplied 13 tags. After a laboratory evaluation only five tags were selected for the first pilot. The reason for not selecting the other eight was: three tags where the transponder was build into the male part of the tag could not meet the anti fraud criteria; the pin of one tag could easily be broken; two tags had a to big diameter (> 30 mm) and one tag was rejected because its shape was identical to another tag. The remaining six tags were selected, but one tag could not be supplied, and so only five tags were evaluated during a four weeks lasting experiment. After the first pilot the manufacturers got the opportunity to improve the five tags on a number of points. All the improved tags were also evaluated in the second pilot experiment. In this test a conventional tag was tested as a reference.

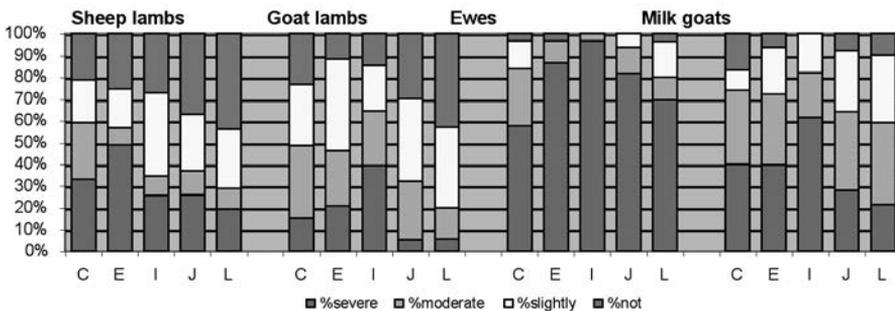


Fig. 1: Inflammation rate ears 1st pilot after 4 weeks (per tag type and animal category)

### 3.2 Field evaluations

Figure 1 gives the inflammation rate per tag and per animal category at the end of the first pilot experiment. During this experiment four sheep lambs have lost the tag of the type I, for the rest there were no losses. The recovery of the wound was very poor after four week for all the tested tags, so all the manufacturers were asked to improve their product. The five improved tags were first laboratory tested.

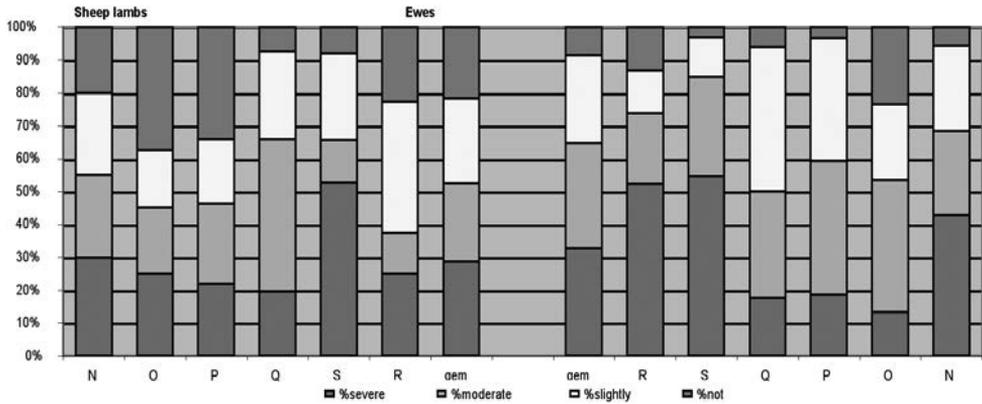


Fig. 2: Inflammation rate ears 2<sup>nd</sup> pilot after 4 weeks (per tag type and animal category)

Figure 2 gives the inflammation results at the end of the second experiment. In this experiment there were no losses. More than 50 % severe inflammation rates were found in the tags S for lambs and ewes and R for ewes. Tag N had more than 40 % severe inflammations for ewes. The tags N, O, P and Q were selected for the final experiment, but it was decided to use N only for milk goats and sheep and goat lambs.

In figure 3 an overview of inflammation rates per farm of the third experiment. The experiments showed that the recovery of the wounds goes in general better for sheep than for goat. Especially the recovery of the goat lamb ears differs strongly per farm. This could be explained as an indication that the stall climate can influence the wound recovery. For sheep lambs that are normally kept under better climate conditions the number of infection after three months is low.

Tab. 1: Physical and functional loss of the tags [%] after 8 months

Tag type	N	O	P	Q	Mean
Physical loss	3,6	2,7	7,4	1,4	3,9
Functional loss	1,5	0,4	0,2	0,6	0,7

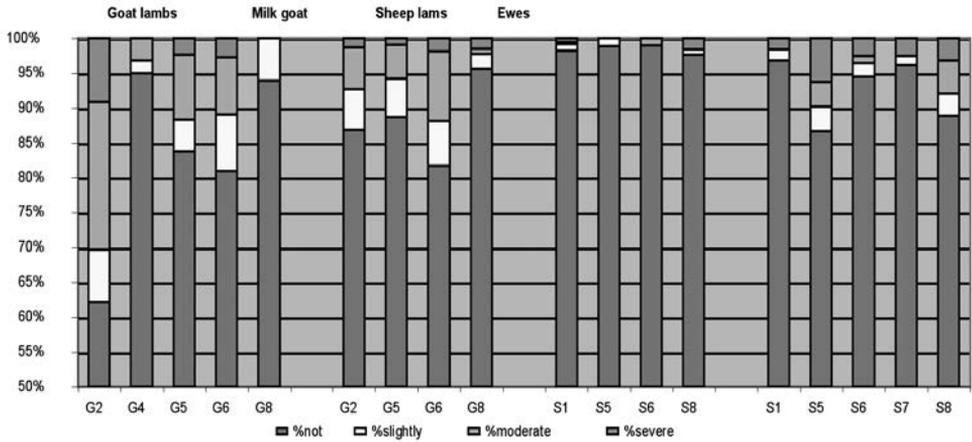


Fig. 3: Inflammation rate ears 3<sup>rd</sup> experiment after 3 months (per farm and animal category)

Table 1 gives an overview of the tag loss after 8 months. The physical loss rates (the tag is no longer in the ear of the animal) are high; especially the loss of tag P is very high. For all transponders functional losses (the transponder of the tag does not send its code anymore) are registered. These functional losses are compared with the IDEA trials after only 7 months rather high.

Five portable transceivers did not have the right interface possibilities and were directly declared unsuitable. Two of the remaining three portable transceivers could not meet the software requirements so there was only one portable transceiver left. This portable transceiver was used in the third experiment of the research.

Tab. 2: Reading performance [centimetre] of the stationary transceivers

Transceiver	RA	RB	RC	RD	RE
Reading distance	31	14	51	37	34

Table 2 the gives reading performance of the stationary transceiver equipment. The mentioned reading distance is the average value of the reading ranges of 4 different transponders and 2 orientations of those transponders (optimum and minimum). A reading range of around 45 centimetres is required. The reading performance of a transceiver is a combination of the performance of the transceiver and the performance of the transponder. The transponders N and O performed good, but the performance of transponder Q was quite poor and from P the results were even worse. The transceiver RC performed very well under laboratory circumstances, but unfortunately this transceiver was not available for a practical evaluation. The transceivers RD and RE were tested under practical conditions.

Tab. 3: Identified animals [%] with stationary reading equipment

Animal category	Transceiver type	Tag N	Tag O	Tag P	Tag Q
Ewes	RD	98	100	3	55
	RE	–	35	0	33
Milk goats	RD	99	55	8	33
	RE	–	72	8	49

The results of the experiments with the stationary reading equipment are given in table 3. With the transceiver RE it was impossible to read the N tag type. The reading performance was strongly influenced on which side the animal carried the tag. If the tags were in the ear close to the antenna of the transceiver then a higher reading percentage could be achieved. In general can be stated that the performance of the used equipment (tags and transceivers) was unsatisfactory.

## 4 Conclusions

After the first pilot when the manufacturers have had the possibility to improve their ear tags the inflammation rate of the ears are still on a high level. But the reference ear tag gives even a little worse score. Also in the practical experiment the inflammation rate of the ears of the adult sheep and goats are high. The inflammation of the ears of the lambs seems lower. Concluded it is possible to tag young animals with a smaller risk on infections.

The loss of ear tags is higher than expected. A loss of tags of 3.7 % during a period of seven months after the application is high. Functional losses should be prevented and therefore it is important that the electronic performance is laboratory tested intensively before the tags are applied in practice.

To read the transponders correctly it is important to have reliable transceivers. The reading distance for the stationary transceivers must off-course be sufficient, but of equal importance is that a transponder must send the id-code to the transceiver with sufficient strength.

## 5 References

COUNCIL DIRECTIVE 98/58/EC of July 1998 concerning the protection of animals kept for farming purposes.

HUISKES, J. H.; BINNENDIJK, G. P.; DIEPSTRATEN, H. J. A. (2000): Gebruikswaarde van i&r-oormerk-transponders en randapparatuur. praktijkonderzoek varkenshouderij. proefverslag nr. p 1.252, 48 pp (in Dutch).

RIBO, O.; M. CUYPERS; Chr. KORN; U. Meloni (2002): Large-scale project on livestock electronic identification (idea project), April 2002, final report v. 3.0, ec jrc ipsc npns, 188 pp.

SCHUILING, E.; VERKAIK, J.; BINNENDIJK, G.; HOGEWERF, P.; SMITS, D.; VAN DER FELS, B. (2004): Electronic eartags for i&r in sheep and goat. Animal Sciences Group. Praktijkrapport schapen 02, 51 pp (in Dutch).

SMITS, A. C.; SMITS, M. C. J.; HOGEWERF, P. H.; WORM, H.; VAN 'T KLOOSTER, C. E. (2002): IDEA project in Nederland: Elektronische dieridentificatie. IMAG rapport 2002-01, 60 pp (in Dutch).

## Energetische Nutzung von Biogas in Brennstoffzellen *Energetical utilisation of biogas with fuel cells*

THORSTEN AHRENS, PETER WEILAND

Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Biogas, Brennstoffzelle, Entschwefelung, Spurengas, GC-MS, nachwachsende Rohstoffe  
**Keywords:** Biogas, fuel cell, desulfurisation, trace gas, renewable resources, energy crops

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsvorhabens wurde erstmalig die Aufbereitung von Biogas aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage zu biogenem Wasserstoff im halbertechnischen Maßstab erprobt. Themenschwerpunkte der durchgeführten Forschungsarbeiten waren die Ermittlung und Bewertung der Abbaubarkeit und der erreichbaren Biogasqualität (inklusive enthaltener Spurengaskomponenten) bei der anaeroben Vergärung von Silagen unterschiedlicher nachwachsender Rohstoffe und weiterhin die Untersuchung, Optimierung und Bilanzierung der Aufbereitung von Biogas aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage zu biogenem Wasserstoff, einschließlich der Verstromung des biogenen Wasserstoffs in einer Niedertemperatur-Brennstoffzelle.*

### **Summary**

*Within a three-year scientific project first hot-testing of upgrading of biogas out of an agricultural biogas plant into Hydrogen was done. Major scientific topics were:*

- *Acquisition and evaluation of degradability of different ensiled energy crops,*
- *acquisition and evaluation of reachable biogas quality (including trace gas compounds),*
- *appraisal, optimisation and evaluation of upgrading of biogas into biogenous hydrogen and*
- *production of electricity out of biogenous hydrogen in PEM Fuel Cells.*

## 1 Gärtestergebnisse

Vergleichende diskontinuierliche und kontinuierliche Gärtests von Silagen unterschiedlicher nachwachsender Rohstoffe zur Ermittlung der anaeroben Abbaubarkeit und der erreichbaren Biogasqualität zeigten zahlreiche Möglichkeiten für effiziente Substratstrategien auf. Die erzielbaren Methanausbeuten überschreiten bei effektivem und gut abbaubarem Pflanzenmaterial die Grenze von 100 l CH<sub>4</sub> je kg zugeführter Frischmasse, unter Einbeziehung der möglichen erzielbaren Flächenerträge der einzelnen Substrate sind die Differenzen noch deutlicher, Abbildung 1.

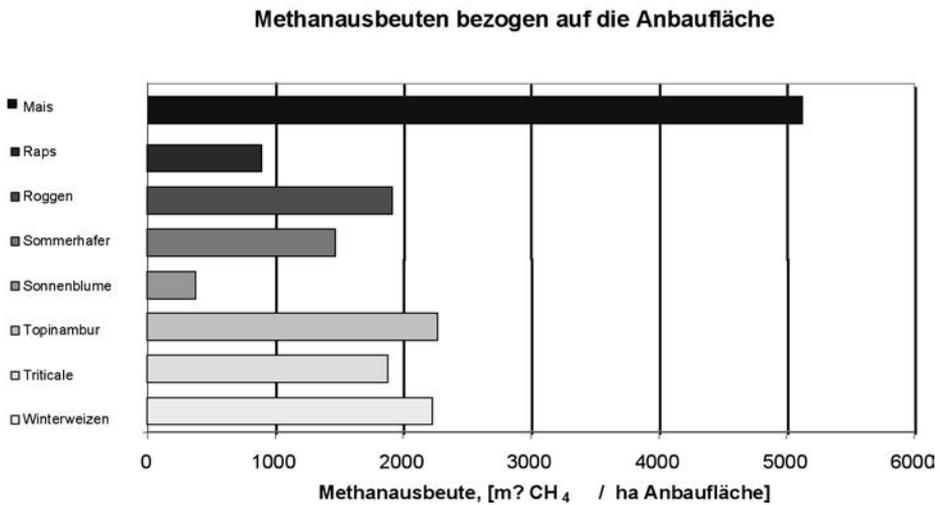


Abb. 1: Methanausbeuten von Silagen nachwachsender Rohstoffe bezogen auf die Anbaufläche

Die Biogasqualität der nachwachsenden Rohstoffe erreichte in Bezug auf die Hauptkomponenten insgesamt ein Qualitätsniveau, welches die Aufbereitung zu biogenem Wasserstoff problemlos ermöglicht.

## 2 Spurengasanalytik

Bei der Ermittlung des Spurengasspektrums im Biogas aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen mittels eines GC-MS-Systems wurden hauptsächlich Schwefel-Wasserstoff, Mercaptane und Kohlenwasserstoffe in sehr geringen Konzentrationen detektiert. Aufgrund dieser nur geringen Konzentration an potentiellen Störstoffen eignen sich solche Biogasgemische für die untersuchten katalysatorunterstützten Anwendungen sehr gut. Weiterhin zeigte sich, dass Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich zu Biogas aus der Verwertung und Entsorgung von Abfallstoffen eine deutlich geringere Konzentration und Variation an Spurengasen aufweist, Tabelle 1.

Tab. 1: Vergleichstabelle Biogasgemische

Spurengas	Gülle/Mais	BGA 08	BGA 16	BGA 48	BGA 54
Carbonylsulfid	X		X	X	
Propen	X	X	X	X	X
Carbondisulfid		X	X	X	
2-Methyl-1-Propen		X		X	X
Pentan	X	X	X	X	X
Methanthiol	X	X	X	X	X
2-Methyl-1,3-Butadien		X	X	X	X
Ethanthiol		X	X	X	X
Heptan		X		X	X
2-Methyl-Furan	X	X	X	X	X
2-Propanthiol		X	X	X	X
1-Propanthiol			X	X	X
2-Methyl-Furan	X	X		X	X
2-Methyl-Hexan	X		X	X	X
2-Butanthiol		X	X	X	X
Toluen	X	X	X	X	X
Ethylbenzol		X		X	X
2-Butanon	X	X	X	X	X
2,3-Butandion		X	X		X

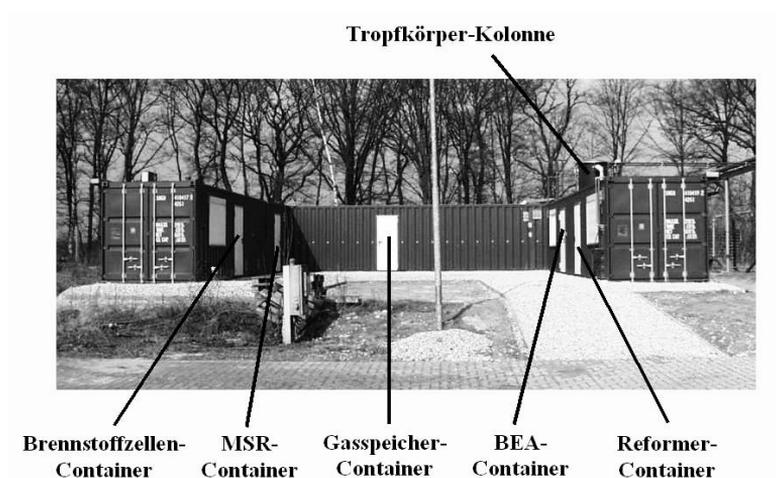


Abb. 2: Überblick über die Versuchsanlage am Standort FAL Braunschweig

Die Bewertung und Bilanzierung der in das Anlagenkonzept, siehe Abbildung 2, integrierten biologischen Entschwefelungsanlage (BEA) führte zu dem Ergebnis, dass eine Vielzahl der begleitenden Komponenten im Biogas abgebaut werden, einige als Stoffwechselprodukte der Desulfurikanten neu entstehen und bestimmte Komponenten vollständig inert sind. Dabei sind die Abbauvorgänge auch von der jeweiligen Substrat- und Betriebssituation abhängig.

### 3 Verfahrensbewertung

Die verfahrenstechnische Bewertung der biologischen Entschwefelungsanlage zeigte, dass die Anlage bei einer Belastung von  $9 \text{ m}^3$  Biogas pro Stunde mit einem Schwefelwasserstoffgehalt von bis zu 2000 ppm Entschwefelungsgrade von ca. 99 % dauerhaft erreichen konnte. Die elektrische Effizienz der Anlage erreichte in Bezug auf den durchgesetzten Methanvolumenstrom ca. 96 %. Durch eine Verdopplung des Biogasvolumenstromes ist bei gleichbleibender Reinigungsleistung eine Steigerung der Effizienz auf bis zu 98,5 % möglich.

Das Hot-Steam-Reforming zur Erzeugung eines wasserstoffreichen Synthesegases aus dem gereinigten Biogas wurde auf einen Gasdurchsatz von  $1 \text{ m}^3$  Biogas je Stunde ausgelegt. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden zahlreiche Optimierungen an dem Reformersystem durchgeführt, um einen problemlosen und störungsfreien Betrieb mit Biogas zu ermöglichen, die Laufzeiten des Systems erreichten Zeiträume von 100 Stunden und mehr. Der regenerative Energieträger Biogas stellte an das System völlig neuartige Ansprüche, denen man im Projektverlauf gerecht werden musste. Durch die Integration der biologischen Entschwefelung in das Anlagenkonzept enthielt das entschwefelte Biogas permanent einen gewissen Anteil (ca. 1,5 Vol.-%) an Sauerstoff. Dies war nicht zu vermeiden, da die biologische Entschwefelung zur dauerhaften Sicherstellung der oben angeführten Reinigungsleistung mit einem gewissen Sauerstoffüberschuss gefahren werden muss. Der Sauerstoffanteil bewirkte im Reformier eine Akkumulation von elementarem Kohlenstoff, dies führte zu einer vollständigen Verblockung der Hot-Steam-Katalysatorschüttung. Diesem Problem wurde durch die Integration einer katalytischen Sauerstoff-Shift-Stufe im Reformier begegnet, in welcher durch eine selektive Oxidation der Sauerstoff aus dem Einsatzgas entfernt wird, bevor er mit dem Hot-Steam-Kat in Kontakt treten kann. Ein weiteres Problem bestand darin, dass der während der katalytischen Umsetzung des Methans als normales Reaktionsprodukt entstehende Kohlenstoff die Katalysator-schüttung unter ungünstigen Umständen mechanisch blockieren kann. Eine solche partielle Blockade kann auch durch aus der Schüttung ausgetragenen losen Kohlenstoff auf dem weiteren Gasweg im Kopfverdampfer des Reformiers erfolgen. Dieser Tatsache wurde durch eine Anpassung der Reformierbetriebsweise begegnet, bei der nun in periodischen Abständen, z. B. bei vollständiger Füllung des Wasserstoff-speichers, der Biogasvolumenstrom durch den Reformier bei ansonsten unveränderten Betriebsparametern durch eine Stickstoffatmosphäre ersetzt wird. Durch die Beibehaltung der Wasserzugabe bei gleichzeitiger Temperierung des Reformiers erfolgt in der Katalysatorschüttung eine Reaktion des Wassers mit eventuell abgelagertem Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff, welche durch die Stickstoffatmosphäre ausgetragen werden und im Gasaustritt des Reformiers analytisch nachweisbar sind. Wenn der Wasserstoffanteil im aus dem Reformier austretenden Stickstoff eine Konzentration von Null Prozent erreicht, ist die Selbstreinigung der Schüttung abgeschlossen und das Reforming kann wieder aufgenommen werden.

Nach Durchführung aller Optimierungsschritte ist die dauerhafte Wasserstoffproduktion aus Biogas möglich, das Hot-Steam-Reforming von Biogas erreicht dabei in Bezug auf das Einsatzgas energetische Wirkungsgrade von ca. 75 %, wobei durch Optimierung der Betriebsparameter von einer weiteren Steigerung auszugehen ist.

Das wasserstoffreiche Synthesegas wurde mittels einer Druckwechseladsorptionsanlage, kurz DWA, zu hochreinem Wasserstoff aufbereitet. Über den Untersuchungszeitraum zeigte sich, dass die DWA nach einer gewissen Einlaufzeit ohne Einschränkung Wasserstoff in der gewünschten Reinheit (CO-Konzentration < 10 ppm) bereitstellen konnte.

Ohne jegliche energetische Optimierung erreichte das System aus DWA und Reformer bezogen auf die Brenn- bzw. Heizwerte der Eingangs- und Ausgangsgase energetische Wirkungsgrade von lediglich 20 %. Unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade der vorgeschalteten biologischen Entschwefelungsanlage reduziert sich der Wirkungsgrad um einen weiteren Prozentpunkt auf 19 %. Durch weitergehende Optimierungen, die ohne konstruktive Eingriffe in die Anlage realisiert werden können, sind für das Gesamtsystem, bestehend aus biologischer Entschwefelung, Reforming und DWA, rechnerisch Wirkungsgrade von über 75 % möglich. Mit baulichen Eingriffen in das Anlagenkonzept kann der Wirkungsgrad nochmals darüber hinaus gesteigert werden.

Bei der eingesetzten Brennstoffzellentechnik wurden Messungen und Experimente an mehreren Systemen mit einer nominellen elektrischen Leistung von 25–100 Watt durchgeführt. Dabei erreichten die Systeme elektrische Wirkungsgrade von maximal 35 % und Brennstoffausnutzungsgrade von maximal 40 %.

Insgesamt erreichte das installierte Verfahren nur geringe Wirkungsgrade, was auf den Versuchscharakter der Prozesskette zurückzuführen ist. Die installierte Anlagentechnik wurde in der Hauptsache auf Funktionalität ausgelegt, die zahlreichen Möglichkeiten zur energetischen Optimierung blieben aus versuchstechnischen Gründen weitestgehend ungenutzt. Die Funktionalität der Prozesskette ist nach Lösung der verfahrens- und prozesstechnischen Probleme voll und ganz gegeben und die Ergebnisse zeigen, dass die Herstellung von biogenem Wasserstoff aus regenerativem Biogas ein technisch gangbarer und ausgesprochen sinnvoller Beitrag zur Unterstützung einer zukünftigen Wasserstoff-Infrastruktur ist.



## Nachhaltige Nutzung von Energiepflanzen in einer 2,3 MW-Biogasanlage *Sustainable utilization of energy crops in a 2.3 MW biogas plant*

ELHUSSEIN HASSAN, PETER WEILAND

Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

**Schlüsselwörter:** Biogas, Energiepflanzen, Biodünger, Anaerobverfahren  
**Keywords:** *Biogas, energy crops, Bio fertilizer, anaerobic process*

### **Zusammenfassung**

*In der aktuellen Zeit bei steigendem Energieverbrauch und den damit verbundenen zunehmenden Umweltproblemen ist es gerade bei der Energiebereitstellung notwendig, nachhaltige Verfahren zu etablieren. Für eine nachhaltige Nutzung von Energiepflanzen in Biogasanlagen spielt die Bereitstellung von Nährstoffen, die beim Anbau von Energiepflanzen vom Boden entzogen werden, eine wichtige Rolle. Die in dem Gärrückstand enthaltenen Nährstoffe aus den verwendeten Energiepflanzen können allein die fehlende Nährstoffe nicht vollständig decken. Die Ko-Vergärung von Energiepflanzen mit agrarindustriellen Reststoffen bzw. Gülle, wie in der Biogasanlage-Lüchow, ergänzen den fehlenden Nährstoffanteil und verbessern die Nachhaltigkeit.*

*Die Nutzung überschüssiger Wärmeenergie (2,8 MW) aus der Biogasstromproduktion zur Eindampfung des Gärrückstands, verbessert die Düngewirkung des Gärsubstrates.*

### **Summary**

*The current growth of energy consumption and the related environmental problems make it necessary to establish sustainable energy generation. For a sustainable utilisation of energy crops in biogas plants the covering of nutrients, which are extracted from the soil with the cultivation of energy plants, plays an important role. The return of the reactor effluent of energy plants to the cultivated land can not cover alone the withdrawal nutrients completely. The co-fermentation of energy crops with agrarindustrial residuals and/or manure as in the biogas plant in Luechow supplements the missing nutrient portion and improves the sustainability.*

*The use of excess heat energy (2.8 MW) from the production of biogas electricity for reducing the quantity of effluent, improves the fertilization effect of the fermenting substrate.*

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren nahm die Energieerzeugung aus Biogas in Deutschland stark zu. Durch die im August 2004 in Kraft getretenen EEG-Novelle (Erneuerbare-Energien-Gesetz) wird ein weiteres Wachstum der landwirtschaftlichen Biogasproduktion erwartet. Eine große Rolle spielt hier die Biogaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen, da sie auch auf Stilllegungsflächen angebaut werden können. Für die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage von großer Bedeutung sind insbesondere Energiepflanzen mit hoher spezifischer Gasproduktion. Zusätzlich zur Reduzierung der Emission umweltrelevanter Schadgase ist es Ziel, die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen für die Energiegewinnung nachhaltig zu realisieren. Mais als Energiepflanze hat hierbei eine zentrale Bedeutung.

## 2 Nutzungsverfahren von Energiepflanzen

Ein wichtiger Punkt für die Nutzung von umweltschonenden erneuerbaren Energien als Ersatz für die begrenzten fossilen Energieträger ist ihre Nachhaltigkeit. Der Nutzungskreislauf von Energiepflanzen in Biogasanlagen ist in Abbildung 1 dargestellt. Für die Nachhaltigkeit müssen die vom Boden beim Anbau der Energiepflanze entzogenen Nährstoffe wieder als Bio-Dünger zurück geführt werden. Obwohl bei der anaeroben Vergärung eine Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit stattfindet, können die im Gärrückstand enthaltenen Nährstoffe nicht vollständig von der Pflanze aufgenommen werden (nicht 100 % verfügbar für die Pflanzen). Deshalb muß der fehlende Teil mit mineralischem bzw. Bio-Dünger gedeckt werden.

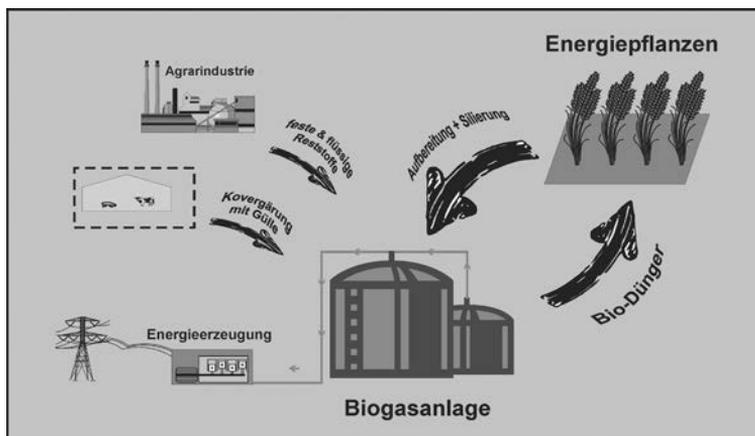


Abbildung 1: Darstellung der nachhaltigen Nutzung von Energiepflanzen  
*Representation of sustainable utilisation of energy crops*

### 3 Beispiel: Biogasanlage Lüchow

#### 3.1 Substrate

In der Biogasanlage Lüchow wurden innerhalb des Betrachtungszeitraums (ein Jahr) ca. 53348 t Kartoffelfruchtwasser, 7295 t Kartoffelpülpe, 27697 t Maissilage, 4367 t Rohstoffe aus der landwirtschaftlichen Überproduktion, 6932 t Schweinegülle und 7442 t Rindergülle verarbeitet. Der Anteil der Maissilage (Energiepflanze) stellt ca. 26 % der Substratmischung dar. Die wesentlichen Stoffdaten der verwendeten Substrate sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Stoffdaten der Substrate  
*Characteristics of the substrates*

Substrate	CSB [g/kg]	TR [% FM]	oTR [% FM]	NH <sub>4</sub> -N [g/kg]	Gesamt-N [g/kg]	PO <sub>4</sub> -P [g/kg]
Fruchtwasser	42,32	3,70	2,63	0,50	1,89	0,41
Kartoffelpülpe	199,47	15,89	14,78	0,47	3,51	0,45
Maissilage	453,46	36,02	32,25	0,30	3,03	0,62
Rindergülle	95,05	6,54	5,28	1,33	2,47	0,44

#### 3.2 Herstellung von Biodüngern

Das vergorene Substrat aus der Biogasanlage (Gärgut) wird einem thermischen Konditionierungssystem für die Erzeugung eines hochkonzentrierten Biodüngers zugeführt. Vor der Konditionierung wird das Gärgut zur Abtrennung der Feststoffe einer mechanischen Entwässerungsanlage zugeführt, wobei ca. 16 % der gesamten Menge, die eine höhere Konzentration an organischem Trockenrückstand aufweist, abgetrennt wird. Die Analysen zeigen, dass sich die Nährstoffkonzentrationen des festen Gärguts vervielfacht haben (Tabelle 2). Die flüssige Phase der Entwässerung wird durch einen 3-stufigen Eindampfungsprozess eingedickt. Die ermittelten Gehalte an Nährstoffen des Biodüngers zeigen ebenso höhere Konzentrationen als das Gärgut (Tabelle 2).

Tab. 2: Stoffdaten der Zu- und Abläufe des Verdampfers  
*Characteristics of in- and outflow of the evaporator*

Substrate	CSB [g/kg]	TR [% FM]	OTR [% FM]	NH <sub>4</sub> -N [g/kg]	Gesamt-N [g/kg]	PO <sub>4</sub> -P [g/kg]
Gärgut	41,25	3,92	2,73	1,14	2,61	0,37
Gärgut (fest)	224,05	16,38	14,33	3,03	6,16	1,21
Gärgut (flüssig)	34,38	3,69	2,37	1,08	2,41	0,35
Biodünger	43,12	4,63	2,92	1,35	2,99	0,41

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Energieerzeugung

Die einzelnen Substrate der Biogasanlage-Lüchow wurden am Institut für Technologie und Biosystemtechnik in Braunschweig auf ihre Methanausbeute und ihren maximal möglichen Abbaugrad untersucht (Tabelle 3). Die Ergebnisse in Tabelle 3 zeigen, dass die spezifische Methanproduktion von Maissilage von 90 l/kg Frischmasse (FM) die gesamte Methanproduktion stark beeinflussen kann.

Tab. 3: Spezifische Methanproduktion der einzelnen Substrate  
*Specific methane production of individual substrate*

Substrate	Spez. Methanproduktion [l/kg FM]	CSB-Abbaugrad [%]
Maissilage	90,1	62,1
Fruchtwasser	9,9	73,3
Kartoffelpülpe	48,1	76,4
Rindergülle	12,6	42,0

Ein entscheidender Faktor für die Höhe der Methanproduktion bzw. der produzierten elektrischen und thermischen Energie ist die Menge des verwendeten Substrates (Substratzufuhr). Abbildung 2 zeigt die tägliche Methanproduktion im Vergleich zur Substratzufuhr. Der Hauptteil der thermischen Energie, etwa 80 % (2,8 MW) der von den BHKW's produzierten Wärmeenergie, wird in der thermischen Gärgut-Konditionierung verwendet. Der Rest wird im Prozess verwendet (z. B. Aufwärmen, Hygienisierung).

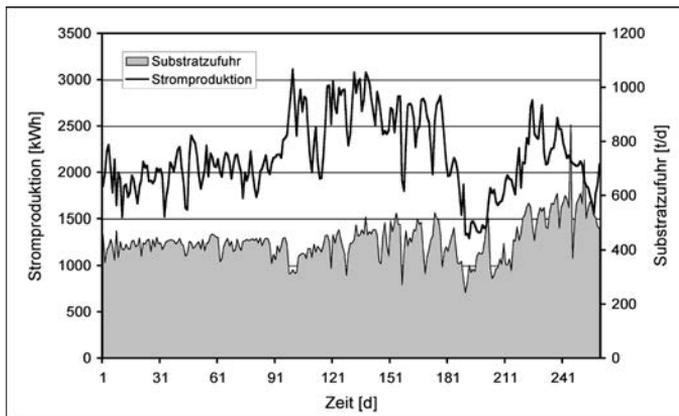


Abb. 2: Stromproduktion der Biogasanlage-Lüchow  
*Electricity production in Lüchow biogas plant*

## 4.2 Prozessnachhaltigkeit

Bei der Verwendung von 27697 Tonnen Mais als Energiepflanze für die Biogaserzeugung werden große Mengen von Nährstoffen der angebauten Landflächen entzogen (Tabelle 4). Über die Biogasanlage bzw. die Konditionierung werden kein Stickstoff (Gesamt-N) und kein Phosphor ( $\text{PO}_4\text{-O}$ ) abgebaut. Andererseits nimmt durch die Vergärung der für die Pflanze direkt verfügbare Ammonium-Stickstoff ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) zu. Die prozentuale Bilanz der  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Gesamt-N und  $\text{PO}_4\text{-P}$  sind in Abbildungen 3, 4 bzw. 5 dargestellt.

Tab. 4: Menge der wichtigen Nährstoffe in den verwendeten Substraten  
Amount of important nutrients in the used substrates

Substrate	$\text{NH}_4\text{-N}$ [t]	Gesamt-N [t]	$\text{PO}_4\text{-P}$ [t]
Maissilage	8,1	81,8	16,7
Diodünger	217	353	59,2

Eine ausschließliche Rückführung der im Mais enthaltenen Nährstoffe wäre für einen nachhaltigen Energiepflanzen-Anbau nicht ausreichend, da nicht sämtliche Nährstoffe von der Pflanze aufgenommen werden können. Die Verwendung von agrarindustriellen Reststoffen bzw. Gülle in dem Biogaskreislaufsystem erhöht der Anteil des Biodüngers und führt zu mehr Nachhaltigkeit. Eine Alternative dazu ist, dass Fehlen notwendiger Nährstoffe mit mineralischem Düngern zu decken. Der Biodünger hat jedoch den Vorteil, auch Nährstoffe, die nicht im mineralischen Dünger enthalten sind, in den Boden einzubringen. Bei der Herstellung von Biodüngern aus anaerobem Gärsubstrat kann die Gärsubstratmenge bis zu 40 % reduziert werden. Dies verbessert die Düngewirkung des Gärsubstrates und kann daher aufgrund der höheren Nährstoffkonzentration gezielter eingesetzt werden. Außerdem zeigt die Ausbringung einer geringeren Menge von Biodüngern weitere wichtige wirtschaftliche und ökologische Vorteile.

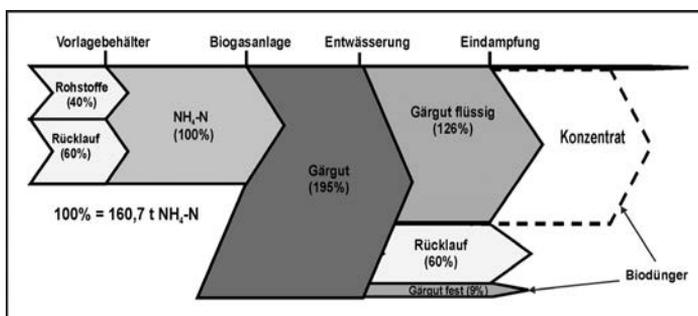


Abb. 3: Prozentuale Bilanz der Ammoniumstickstofffracht der Biogasanlage-Lüchow  
Percentage balance of ammonium-nitrogen in Lüchow biogas plant

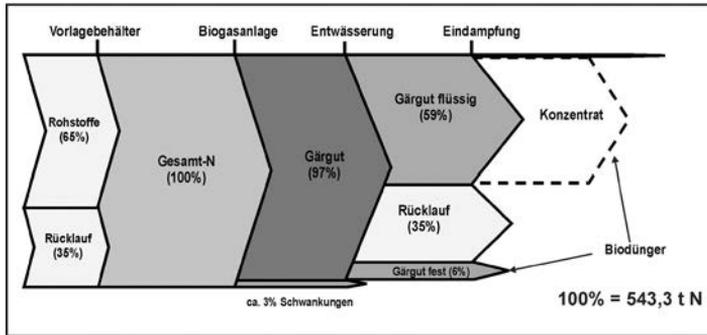


Abb. 4: Prozentuale Bilanz der Stickstofffracht der Biogasanlage-Lüchow  
*Percentage balance of total nitrogen in Lüchow biogas plant*

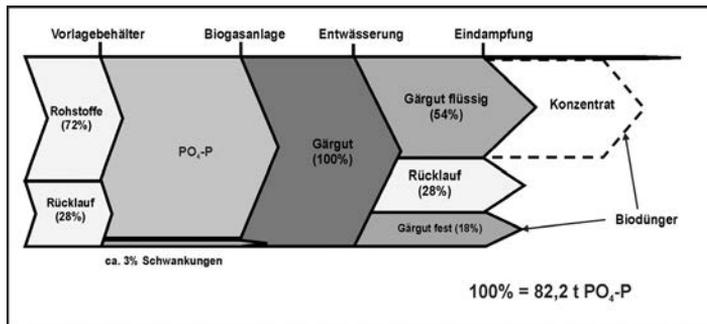


Abb. 5: Prozentuale Bilanz der Phosphorfracht der Biogasanlage-Lüchow  
*Percentage balance of phosphor in Lüchow biogas plant*

## 5 Schlussfolgerungen

Die Verwendung von agrarindustriellen Reststoffen sowie Gülle mit der Vergärung von Maissilage in der Biogasanlage-Lüchow stabilisiert das Gleichgewicht des Nährstoffkreislaufs im Boden und kann eine zusätzliche Verwendung von mineralischem Dünger überflüssig machen. Landwirtschaftliche Biogasanlagen mit hoher Energieerzeugung wie die Biogasanlage in Lüchow (2,3 MW Strom und 3,5 MW nützliche Wärmeenergie) können einen wichtigen Beitrag für die Wirtschaftlichkeit der Agrarproduktion leisten und eine vielversprechende Energiealternative für die Zukunft sein.

## **Faktoren, die über die Wirtschaftlichkeit einer landwirtschaftlichen Biogasanlage entscheiden** *Impacts of selected factors on economy of agricultural biogas plants*

**PETER JÄGER, ANKE NIEBAUM, HELMUT DÖHLER**

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), D-64289 Darmstadt

**Schlüsselwörter:** Landwirtschaftliche Biogasanlagen, Einflußfaktoren, Wirtschaftlichkeit  
**Keywords:** *Agricultural biogas plants, economy, factors of economy*

### **Zusammenfassung**

*Der Betrieb landwirtschaftlicher Biogasanlagen unter den Bedingungen des Erneuerbaren Energien Gesetzes von 2004 eröffnet Einkommensalternativen und bietet Gewinnchancen für landwirtschaftliche Unternehmen. Die ökonomischen Einflussfaktoren liegen in ihrer Rangfolge bei hohen konstanten Leistungen, günstigen Rohstoffkosten, angepasster bedarfsgerechter Dimensionierung der Anlage bei angemessener Investition und überschaubaren Reparaturrisiken. Den Arbeitskosten und dem Düngerwert der Gärreste ist nur ein geringerer Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg beizumessen.*

### **Summary**

*The new conditions of the EEG (RENEWABLE ENERGY ACT, 2004) offer farmers new chances and perspectives for income by energy production with agricultural biogas-plants. The most important economical values are high and constant performance of the plant, favourable cost for raw material, straight dimension of the plant with appropriate investments and acceptable risks for repairs. Costs of Labour and fertilisation value have only small influence on economic success.*

## 1 Einleitung

Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen wird durch verschiedene Leistungs- und Kostenpositionen bestimmt. Welche Parameter für eine erste Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wichtig sind und welches Einflussvermögen sie auf die Wirtschaftlichkeit haben wird im folgenden erörtert:

### 1.1 Erträge

#### 1.1.1 Stromeinspeisevergütung

Mit der Neufassung des Erneuerbaren Energiegesetzes (EEG) zum 1. August 2004 haben sich die Rahmenbedingungen für den wirtschaftlichen Betrieb einer landwirtschaftlichen Biogasanlage deutlich verbessert. Bezüglich der erzielbaren Leistungen besteht damit eine ganz erhebliche und bedeutsame Planungssicherheit, und dies für die Dauer von 20 Jahren. Vier Schwerpunkte hat der Gesetzgeber in der Preisgestaltung gesetzt:

- Die Preisstaffelung der Grundvergütung nach der Anlagengröße (installierte Leistung) Hiermit wird versucht, den höheren spezifischen Investitionskosten kleinerer Anlagen gerecht zu werden.
- Der Vergütungszuschlag „NaWaRo-Bonus“ für die alleinigen Verwertung von Pflanzen- und Pflanzenbestandteilen und/oder Gülle. Mit dem NaWaRo-Bonus werden Anreize geschaffen, das vorhandene Biomassepotenzial wirtschaftlich besser zu erschließen, ohne dabei Mitnahmeeffekte auszulösen.
- Der Vergütungszuschlag „KWK-Bonus“ bei der Verwertung von Wärme aus dem KWK-Prozess über einen externen Wärmeabnehmer
- Der Vergütungszuschlag „Technologie-Bonus“

Das folgende Beispiel zur Berechnung der Stromeinspeisevergütung mit daraus abgeleiteten Überlegungen soll für einen der wichtigen Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit sensibilisieren:

Für Anlagen bis **150 kW installierter Leistung**, die im Jahr **2005** ans Netz gehen, den **Nawaro-Bonus** erhalten und bei denen 35 % des Stromes als **Kraft-Wärme-Kopplung** anzurechnen sind, errechnet sich eine Stromvergütung von 18,03 Cent/kWh eingespeister Strom ( $11,5 \text{ Cent} * 0,985$  (für 2005) + 6 Cent (Nawaro-Bonus) +  $2 \text{ Cent} * 0,35$  (KWK-Anteil)). Mit höheren installierten Leistungen fällt durch sinkende Erträge aus der Grundvergütung sowie der NaWaRo-Bonus-Vergütung der Stromertrag kontinuierlich auf z. B. 14,16 Cent/kWh (= 79 % des Ausgangswertes) bei einer Anlage mit 2000 kW (2 MW) (s. Abb. 1). Sinkende Einspeisevergütungen großer Anlagen müssen demnach durch relative Einsparungen bei der Investition (= machbar), den Substratkosten (= bedingt machbar, evtl. durch Erlöse) und den weiteren laufenden Betriebskosten (= bedingt machbar) zumindest teilweise abgefangen werden. Kann Wärme gemäß den Regelungen der Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden, dann wird die Strommenge, die erzeugt werden musste, um die ausgekoppelte Wärme zu erzeugen, mit einem Bonus von 2 Cent/kWh höher vergütet. Wird eine recht hohe Wärmenutzung erreicht, im Beispiel 35 % bonusberechtigter Strommenge des insgesamt erzeugten elektrischen Stromes, dann könnte diese einen Anteil an der gesamten Stromvergütung von 3,9 bis 4,9 % erreichen. Der Anteil ist bei großen Anlagen höher, da dort insgesamt ein niedrigeres Preisniveau besteht. Die Vergütung für KWK-Nutzung kann die Wirtschaftlichkeit

der gesamten Anlage nicht maßgeblich beeinflussen. Dazu muss noch ein Ertrag aus der Wärmenutzung kommen, der die zusätzlichen Kosten für die Wärmeverwendung und/oder -verteilung mehr als abdeckt.

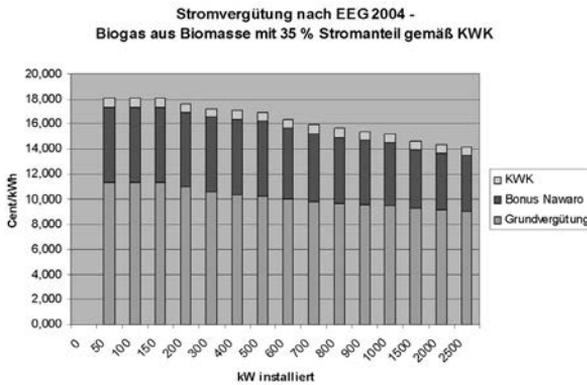


Abb. 1: Strompreisvergütung: Nawaro-Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung

## 1.2 Kosten

### 1.2.1 Rohstoffe

Die Biogastechnologie hat entscheidende Impulse aus der Anwendung der einstreulosen Tierhaltungsverfahren bekommen, denn der Grundstoff „**Gülle**“ hat in erster Linie einen Düngewert zu bieten. Dieser Düngewert wird durch die Biogasnutzung nicht geschmälert, sondern z. B. durch bessere Pflanzenverträglichkeit und -verfügbarkeit aufgewertet. Gülle ist trotz bescheidener Biogasausbeute und damit geringer Transportwürdigkeit attraktiv, da sie auf den biologischen Prozess stabilisierend wirkt und ihn damit positiv beeinflusst. Voraussetzung ist aber, dass sie im Betrieb kostenlos anfällt oder nur kurze Transportwege bestehen. Die Ausbeute an elektrischer Energie (Stromertrag) liegt bei durchschnittlichen Biogaserträgen (nach Richtwerten) und einem angenommenen elektrischen Wirkungsgrad von 32 % zwischen 32 (Rindergülle), 37 (Schweinegülle) und 42 (Rindergülle mit Futterresten) kWh je Tonne Frischmasse. Bei Preisen von 17 bis 14 Cent/kWh bedeutet dies einen Stromerzeugungswert zwischen 4,50 und 7,10 €/t Gülle. Nach Abzug der Verarbeitungskosten in der Biogasanlage bleibt also nur noch ein geringer Ertrag. Dieser stellt die Grenze der Transportwürdigkeit dar. Gülle ist somit die „Billigkomponente“ in der Mischung. Muss sie zugekauft werden, so ist der Ertrag genauestens zu prüfen. Steht Gülle am Standort der Biogasanlage zur Verfügung, können eventuell Investitionen durch die Verwendung vorhandener Lagerstätten gesenkt werden. **Nachwachsende Rohstoffe** stehen in einem wirtschaftlichen Wettbewerb in der Verwertung. Für den Erzeuger von z. B. Maissilage und Roggen bestehen die Alternativen der Verwertung über die Fleisch- oder Milchproduktion oder den Verkauf der Produkte zu Marktpreisen. Die Verwertung über eine Biogasanlage muss demnach Vorteile gegenüber anderen Verwertungsmöglichkeiten bieten. In Tab. 1 sind die Stromeinspeiseerlöse für einige wichtige pflanzliche Substrate bei Vergütungssätzen von 17 und 14 Cent/kWh aufgeführt.

Um feststellen zu können, ob das Substrat konkurrenzfähig wirtschaftlich verwertet wird, sind von diesen Stromerlösen die gesamten Kosten der Erzeugung, Lagerung und Verarbeitung in

der Biogasanlage zuzüglich der Ausbringung des Gärrestes abzuziehen. Eine Maissilage mit 35 % TS kann bei guter Verwertung einen Stromertrag von 335 kWh je Tonne liefern. Der Erlös bei einer Vergütung von 17 Cent/kWh beträgt 56,95 €/t. Hinzu kommt der Düngerwert von 5,08 €/t. Diesen Erlösen stehen Kosten für die Erzeugung gegenüber. Sie belaufen sich nach KTBL-Datensammlung 2004/05 [1], konventionelle Erzeugung, 50 t/ha, 2-ha-Parzellen auf 23,30 €/t Maissilage bis zur Einlagerung. Die zusätzlichen Lagerkosten sind mit 5,84 €/t ermittelt. Ab Lager betragen die Kosten somit 29,14 €/t Frischmasse, ohne Lagerverluste. Das sind 8,70 Cent je kWh erzeugter Strom. Berücksichtigt ist allerdings eine Kostenersparnis von 45 €/ha, die sich aus der Energiepflanzenanbauprämie ergibt. Flächenprämien, die durch die EU-Neuregelungen in Zukunft abgesenkt und regionalisiert werden, brauchen nicht berücksichtigt zu werden, weil sie zukünftig nur getrennt nach Acker- und Dauergrünland gewährt werden. Zusätzlich zu berücksichtigen wären Mehrkosten für:

- Nutzungskosten, wenn eine Frucht mit besserer Wirtschaftlichkeit verdrängt würde,
- Pacht und Gemeinkosten, die auf die Flächen umgelegt werden,
- Kosten für die Denaturierung bei Energiepflanzenanbau auf Stilllegungsflächen. Pflegekosten auf der Stilllegungsfläche werden dann eingespart. Die ersparten Kosten sind anzurechnen.

Tab. 1: Stromerlöse je t Frischmasse verschiedener nachwachsender Rohstoffe

Stromeinspeisevergütung Cent/kWh	Stromertrag kWh / t FM	Stromerlös je t Frischmasse [€]	
		17	14
Maissilage, 35 % TS	335	56,95	46,9
Grassilage, 25 % TS	213	36,21	29,82
Getreidekörner	1012	172,04	141,68
Kartoffel, mittl. Stärkegehalt	251	42,67	35,14
Rübenblattsilage, 18 % TS	149	25,33	20,86

Die Kosten der Verarbeitung, einschließlich der Entnahme aus dem Lager belaufen sich bei der unterstellten Anlage mit 150 kW auf 14,13 €/t Frischmasse. Darin sind die gesamten festen Kosten der Biogasanlage, des zusätzlichen Gärrestlagers, Unterhaltung und Reparaturen, die Arbeitskosten sowie die Kosten für die Ausbringung des Gärrestes enthalten. Es wird ein Überschuss von 18,76 €/t Maissilage erzielt. Diese Berechnung soll verdeutlichen, dass nur der Ansatz von Vollkosten ein zulässiges Ergebnis gewährleistet. Leider scheint dies in der Praxis nicht immer der Fall zu sein. Befragte Betriebe gaben meist geringere Erzeugungskosten von durchschnittlich 8 Cent/kWh an. Nach Planungsrechnungen wurde dagegen mit durchschnittlich 14 Cent/kWh kalkuliert. Die Verwertung von **Kofermenten**, die nicht unter den „Nawaro-Bonus“ fallen, hat beträchtliche wirtschaftliche Auswirkungen, da dies eine Ertragsminderung aus dem Stromverkauf um rund 1/3 bedeutet. Je nach eingesetztem Material können noch Kosten für Hygienisierungsmaßnahmen und andere Auflagen hinzukommen. Eine individuelle Kalkulation der Wirtschaftlichkeit ist unumgänglich. Grundsätzlich müssen Kofermente ertragreich und preiswert sein. Das bedeutet, dass Entsorgungserlöse erforderlich sind, die sowohl den Wegfall des NaWaRo-Bonus UND ggf. zusätzliche Investitionen gewinnbringend kompensieren. Mit dem Nawaro-Bonus ist für landwirtschaftlich ausgerichtete Biogasanlagen die Verarbeitung von Nicht-NaWaRos und/oder Gülle zunehmend bedeutungslos.

## 1.2.2 Investitionen

Die Kosten, die mit der Errichtung und dem Betrieb der Biogasanlage verbunden sind, bilden den zweiten wichtigen Kostenfaktor. Es ist unumgänglich, die einzelnen Kostenpositionen genauer zu betrachten. Von Experten werden als Faustzahl meist Investitionen zwischen 4.500 für kleinere Anlagen und 3.000 €/kW installierter Leistung bei größeren Anlagen genannt. Diese Richtgröße wird durch Erhebungen bei Betreibern weitgehend bestätigt. Die Ursache für niedrigere spezifische Investitionen sind recht oft auf überdimensionierte, auf Leistungsreserven ausgelegte Anlagen zurückzuführen. Der Parameter „spezifische Investition“ hat nur dann Aussagekraft, wenn die betrachtete Anlage mit allen Bauteilen leistungsmäßig gut aufeinander abgestimmt und ausgelastet ist. Aus wirtschaftlicher (und auch verfahrenstechnischer) Sicht sollte eine Vollausslastung des BHKWs über 8.000 h im Jahr angestrebt werden.

## 1.2.3 Reparaturen und Instandhaltung

Mangels besserer verfügbarer Werte wird die Kostenposition „Reparaturen, Wartung und Instandhaltung“ häufig mit 2 bis 3 % vom Anschaffungswert der Biogasanlage kalkuliert. Dieser Wert wird durch Auswertungen von Umfragen an rund 40 Anlagen bestätigt. Umgerechnet auf die erzeugte Strommenge sind somit mit rund 1,4 Cent pro erzeugte kWh Strom an Wartungs-, Instandhaltungs- und Reparaturkosten zu rechnen. Ein großer Teil der ausgewerteten Anlagen kann auf Werte unter 1 Cent/kWh verweisen, aber auch extreme Ausreißer sind festgestellt worden. Für Kalkulationen ist man gut beraten, vorsichtig vorzugehen und langfristig mit **1,5 ct/kWh** zu kalkulieren.

## 2 Sensitivitätsanalyse

Kosten und Leistungen lassen sich nicht auf den Euro genau voraussagen, dazu gibt es zu viele Unwägbarkeiten. Mit einer Sensitivitätsanalyse lässt sich aber „durchspielen“, wie empfindlich die Wirtschaftlichkeit auf bestimmte Leistungs- und Kostenänderungen anspricht. Die besonders kritischen Bereiche werden erkannt und können in die Investitionsentscheidung einbezogen werden. Grundlage der Betrachtung bildet das folgende Anlagemodell mit 150 kW installierter Leistung (siehe auch [2]):

Die Einsatzstoffe sind 6.000 t Gülle aus Rinder- und Schweinehaltung pro Jahr und nachwachsende Rohstoffe mit 1.000 t Maissilage, 200 t Grassilage und 365 t Roggen (Korn) im Jahr. Die Biogasanlage koppelt rund 43 % der erzeugten Wärme aus und verkauft diese für 2,5 ct/kWh. Zusätzlich wird für die korrespondierende Strommenge der KWK-Bonus in Höhe von 2 ct/kWh gewährt. Das BHKW läuft 8.000 h pro Jahr unter Vollast. Eine Sicherheit in Höhe einer rechnerischen Größe von 5 Tagen Gasertragsausfall pro Jahr durch unvorhergesehene Ereignisse erklärt die eingespeiste Strommenge von rund 1,113 MWh.

Nach üblicher Kalkulation sollte die Anlage einen Jahresgewinn von rund 64.000 € erwirtschaften (Tab. 2). Die Frage ist jedoch: Wie sicher ist dieses Ergebnis? Wie stark muss sich ein einzelner Faktor ändern, um z.B. einen Gewinneinbruch auf 50 % = rund 32.000 €/Jahr hervorzurufen? Die Sensitivitätsanalyse zeigt:

**Gewinneinbußen in Höhe von 50 % können hervorgerufen werden durch:**

**1 16% Leistungsminderung in der Stromerzeugung.**

Sinkende Leistungen in dieser Größenordnung können z. B. auf eine Wirkungsgradverminderung von 28 anstatt 33 % zurückgeführt werden. Auch eine suboptimale Auslastung des BHKWs mit weniger als 6.900 Volllaststunden anstelle angestrebter 8.000 Stunden pro Jahr ist ein denkbarer Leistungsminderungsgrund. Dies gilt auch für eine entsprechend geringe Gasausbeute der Substrate oder ein geringerer Methangehalt als im Vorplanungsstadium kalkuliert. Ähnliches gilt theoretisch auch für die Einspeisevergütung, die ist aber gesetzlich festgelegt und deshalb nicht „sensibel“.

**2 47 % Mehrkosten für Nachwachsende Rohstoffe.**

Die Rohstoffkosten sind demnach die zweitwichtigste sensible Größe.

**3 Ca. 60 % höhere Investitionen.**

Der Gewinneinfluss ist bedeutend, folgt aber im Rang eindeutig den Rohstoffkosten.

**4 Erhöhung der Reparaturkosten auf ca. 4,2 Cent/kWh.**

Reparaturrisiken stellen also ein noch immer erhebliches wirtschaftliches Risiko dar.

**5 Relativ unsensibel sind die Arbeitskosten.**

Würden diese um 25 % teurer oder würde 25 % mehr Arbeit benötigt, würde sich der Gewinn lediglich um ca. 7 % mindern.

**6 Der Wert des Düngers ist auch von geringerer Bedeutung.**

Ein um 25 % geringerer Düngewert (wegen z. B. niedriger Düngerpreise) würde den Gewinn lediglich um 5% mindern.

Tab. 2: Kostenkalkulation für Anlagemodell mit 150 kW installierter Leistung

453.000 € Gesamt-Invest 18,03 Ct/kWh Vergütungssatz	Kosten €/Jahr	Leistungen €/Jahr	Anteil [%]
Erlöse von 1.113.143 kWh/Jahr		200.700	89,4
Wärmenutzung		13.157	5,9
Düngerwert in NaWaRos		10.473	4,7
Summe der Leistungen		224.330	100,0
<b>Kosten der Anlage</b>			
Abschreibungen der Anlage	34.062		21,2
Zinsansatz bei 5% Zinssatz	13.619		8,5
Versicherung	2.270		1,4
Unterhalt und Reparaturen	14.988		9,3
Zündölkosten	11.806		7,3
Arbeitskosten 1095 AKh x 15 Euro	16.425		10,2
Summe der Anlagekosten	93.170		58,0
<b>Rohstoffkosten</b>			
Maissilage 1000 t x 30 Euro	30.000		18,7
Grassilage 200 t x 42	8.400		5,2
Roggen 365 t x 80	29.200		18,2
Summe der Rohstoffkosten	67.600		42,0
Summe der Kosten	160.770		100,0
Jahresüberschuss		63.854	
Kosten Ct je kWh	14,44		

**3 Literatur**

[1] Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005, KTBL e. V. (Hrsg.), Darmstadt.  
 [2] Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung (2004), FNR e. V. (Hrsg.), Leipzig.

## Hygienevorgaben für Biogasanlagen und deren technische Umsetzung *Sanitation-Requirements for biogas-plants and their technical implementations*

SUSANNE KLAGES<sup>1</sup>, ROSEMARIE CHRISTIAN-BICKELHAUPT<sup>2</sup>, HANS-WALTER SCHNEICHEL<sup>3</sup>,  
WERNER PHILIPP<sup>4</sup>, ELEONORE MARCINISZYN<sup>5</sup>, MARKUS HELM<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), D-64289 Darmstadt,

<sup>2</sup> Hessisches Ministerium für Umwelt, Ländlicher Raum und Verbraucherschutz, D-65189 Wiesbaden

<sup>3</sup> SGD Nord, D-56002 Koblenz

<sup>4</sup> Institut für Umwelt- und Tierhygiene, Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart

<sup>5</sup> Ingenieurbüro für Umweltplanung, Geschäftsbereich PLaNCoTec, D-37297 Neu-Eichenberg

<sup>6</sup> BioEnergy Biogas GmbH, D-32505 Bad Oeyenhausen

**Schlüsselwörter:** Biogasanlagen, Recht, Hygienisierung  
**Keywords:** *Biogas-plants, legal requirements, sanitation*

### **Zusammenfassung**

*In Abhängigkeit von den in der Biogasanlage eingesetzten Substrate, sind die Hygienisierungsanforderungen sehr unterschiedlich. Eine thermophile (55 °C) Betriebsweise, bei der das gesamte Substrat hygienisiert wird, ist in nach der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 nicht vorgesehen. Für Kofermentationsanlagen ist eine Vollstromhygienisierung weder nach nationalem noch nach EU-Recht derzeit zwingend vorgeschrieben. Bei Gemeinschaftsanlagen kann aus seuchenhygienischen Gesichtspunkten solch eine Behandlung angebracht sein. Mit dem Vorschlag der KTBL-Agru zur Überarbeitung von Anhang 2 BioAbfV ([www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)) werden einige Rechtsvorgaben künftig leichter umsetzbar, ohne dass dabei das vorhandene Sicherheitsniveau reduziert würde. Mit dem Ziel der Kostenminimierung sollten Hygienisierungsanforderungen schon im Vorplanungsstadium mit den zuständigen Veterinärämtern und Genehmigungsbehörden geklärt werden.*

### **Summary**

*In biogas-plants, sanitation requirements differ with respect to the digested substrates. A thermophilic operating mode (55 °C) with sanitation of the complete substrate is not sufficient according to European standards. For co-digesting plants, a 70 °C-heat treatment für the complete substrate is not compulsory according to national or European law. Nevertheless, under pest-control aspects, such a treatment is recommended for plants treating manure from many different animal keepers. As proposition of a KTBL-working-group, the draft for an amendment of the present hygiene-rules of the biowaste ordinance would facilitate the implementation of legal rules without reducing existing safety standards. During the planning-phase of a project the responsible authorizing agency should be contacted in time in order to align sanitation-requirements.*

## 1 Einleitung

Die Bedeutung von Biogasanlagen als Energielieferanten hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Diese Entwicklung wird durch die Novelle des Erneuerbaren Energien-Gesetzes (EEG) vom August 2004 noch verstärkt. Mittlerweise werden bundesweit ca. 2000 Anlagen betrieben, für Ende 2006<sup>1</sup> werden 4000 Anlagen prognostiziert.

Die Vorschriften für den Betrieb von Biogasanlagen und die Gärrestverwertung wurden mit Inkraft-Treten des Tierischen Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (TierNebG) Ende Januar 2004, welches der Umsetzung der direkt wirksamen Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 vom 03. Oktober 2002 (Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmten tierischen Nebenprodukten) dient, grundlegend neu strukturiert. Die Verordnung ersetzt das nationale Tierkörperbeseitigungsgesetz (Tier KBG 2001), die Tierkörperbeseitigungsanstalten-Verordnung (TierKBAnstV 2001) und die Futtermittelherstellungs-Verordnung (FuMiHerstV 1993), welche somit außer Kraft gesetzt wurden. Redaktionelle Änderungen wurden im Tierseuchengesetz (TierSG 2004), im Fleischhygienegesetz (FIHG 2003) und im Geflügelfleischhygienegesetz (GFIHG 1996) vorgenommen und es wurde eine neue Abgrenzung zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG 1994) geschaffen. Die Anwendbarkeit abfallrechtlicher Vorschriften, wie z. B. der Bioabfallverordnung (BioAbfV 1998), ist nun im Wesentlichen auf Stoffe pflanzlichen Ursprungs beschränkt. Düngemittelrechtliche Vorgaben auf nationaler und EU-Ebene besitzen weiterhin Gültigkeit.

Geltende Rechtsvorschriften bestimmen, ob und ggf. welche Hygienisierungseinrichtungen für Biogasanlagen vorzusehen sind. Anhand von Anlagenmodellen werden jeweils anzuwendende Rechtsvorschriften erläutert. Es werden Hinweise zur Technik gegeben und die Kosten einer Hygienisierung exemplarisch berechnet.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Biogasanlagen sind auch weiterhin im Wandel begriffen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) überarbeitete die KTBL-Arbeitsgruppe „Hygiene-Prüfsystem für Vergärungsanlagen 1“ Anhang 2 der BioAbfV mit Hygienevorschriften für biologische Abfallbehandlungsanlagen. Auf einem BMU-Fachgespräch wurde der verabschiedete Textvorschlag am 1. Oktober 2004 Ländervertretern, Vertretern des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und weiteren Fachleuten vorgestellt.

## 2 Geltende Rechtsvorschriften für unterschiedliche Anlagenmodelle

Tabelle 1 veranschaulicht Hygienisierungserfordernisse in Abhängigkeit von Substraten, Rechtsvorgaben und der Art der Gärrestverwertung. Die Anlagenmodelle 1a bis 1c verarbeiten neben Wirtschaftsdünger tierischen Herkunft (WD) ausschließlich pflanzliche Stoffe (Nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRos) und/oder pflanzliche Abfälle). 1c ist als Gemeinschaftsanlage konzipiert. Die teilweise als Gemeinschaftsanlage betriebenen Anlagen 2a bis 2d verarbeiten neben den WD auch weitere Stoffe tierischen Ursprungs.

Betrieb 1a fällt durch die WD unter die Vorgaben der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 sowie die Düngeverordnung (DüngeV).

<sup>1</sup> Fachverband Biogas e. V.: Der Spiegel 40/2004

Tab. 1: Erfordernisse zur Hygienisierung in Abhängigkeit von Rechtsvorgaben, Substraten und Verwertung des Gärrests

Mo- dell	Substrate	relevante Rechtsvorgabe	Verwertung des Gärrests	Betriebswei- se der Bio- gasanlage	Art der Hygienisierung
1a	WD <sup>1</sup> , NaWaRos <sup>2</sup>	EG-V 1774/2002 <sup>5</sup> DüngeV <sup>6</sup>	eigen	mesophil	keine
1b	WD <sup>1</sup> , Getreide- abfälle <sup>3</sup> (Zukauf)	EG-V 1774/2002 <sup>5</sup> , BioAbfV, DüngeV <sup>6</sup>	eigen	a) thermo- phil <sup>9</sup> b) mesophil	a) keine b) Pasteurisierung des Bioabfalls (70 °C, 1 h) oder aerobe Nachrotte
1c	WD <sup>1</sup> , NaWaRos <sup>2</sup> , Getreideabfälle <sup>3</sup> (Zukauf)	BioAbfV, Dün- gemittelV, EG-V 1774/2002 <sup>5</sup> , DüngeV <sup>6</sup>	In-Verkehr- Bringen, (Gemein- schaftsanlage, 3 Landwirte)	a) thermo- phil <sup>9</sup> b) mesophil	a) keine b) Pasteurisierung des Bioabfalls (70 °C, 1 h) oder aerobe Nachrotte <sup>10</sup>
2a	WD <sup>1</sup>	DüngemittelV, DüngeV <sup>6</sup> EG-V 1774/20025	In-Verkehr- Bringen, (Gemein- schaftsanlage, viele Land- wirte)	thermophil <sup>9</sup> oder mesophil	keine <sup>10</sup>
2b	WD <sup>1, 4</sup> , NaWa- Ros <sup>2</sup> , Fettabschei- derinhalt tieri- schen Ursprungs	EG-V 1774/2002, Tierseuchenrecht <sup>7</sup> (ViehVerkV), Dün- geV <sup>6</sup>	eigen	thermophil <sup>9</sup> oder mesophil	Pasteurisierung des tierischen Reststoffs (70 °C; Fettab- scheideinhalt)
2c	WD <sup>1, 4</sup> , NaWa- Ros <sup>2</sup> , Küchen- und Speiseabfälle (nicht Kategorie 1)	EG-V 1774/2002 <sup>5</sup> , DüngeV, Tierseu- chenrecht <sup>8</sup> (Vieh- VerkV)	eigen	thermophil <sup>9</sup> oder mesophil	Pasteurisierung des tierischen Reststoffs (70 °C; Küchen- und Speiseabfälle)
2d	WD <sup>1</sup> , ehemalige Lebensmittel tieri- schen Ursprungs (Kategorie 3), pflanzl. Abfälle (behandlungs- pflichtig nach BioAbfV)	EG-V 1774/2002, BioAbfV, Dünge- mittelV, DüngeV <sup>6</sup>	In-Verkehr- Bringen	a) thermo- phil <sup>9</sup> b) mesophil	a) Pasteurisierung von Material der Kate- gorie 3 (70 °C); b) Pasteurisierung von Material der Kate- gorie 3 und Pasteu- risierung der Bioab- fälle (70 °C) oder aerobe Nachrotte

<sup>1</sup> Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft, wie Gülle, Jauche und Festmist; WD pflanzlicher Herkunft bleiben außer Betracht, <sup>2</sup> Nachwachsende Rohstoffe, <sup>3</sup> pflanzlicher Bioabfall laut BioAbfV, Anhang 1, <sup>4</sup> Betrieb mit Klautierhaltung <sup>5</sup> Nur Zulassung nach Art. 15 (einschließlich HACCP <sup>6</sup> derzeitiger Rechtsstand; <sup>7</sup> wegen Fettabscheider <sup>8</sup> wegen Küchen- und Speiseabfällen <sup>9</sup> thermophil im Sinne des Anhangs 2, BioAbfV <sup>10</sup> Pasteurisierung im Vollstrom ist rechtlich nicht erforderlich, wäre jedoch aus fachlicher Sicht sinnvoll

Die Anlage kann mesophil betrieben werden, da die EU-Verordnung in dieser Konstellation für WD derzeit keine Hygienisierungsanforderungen stellt. Werden Getreideabfälle, die nicht im eigenen Betrieb anfallen, mitverwertet (1b) greift zusätzlich neben den o. g. Rechtsvorschriften die BioAbfV.

Diese sieht für die Getreideabfälle eine Hygienisierung in Form einer Vorpasteurisierung (70 °C/1h) vor.

Alternativ kann die Anlage thermophil betrieben oder der gesamte Gärrest nach den Vorgaben der BioAbfV nachpasteurisiert bzw. kompostiert werden. Aufgrund des gemeinschaftlichen Betriebes der Anlage 1c durch drei Landwirte wird der Gärrest in den Verkehr gebracht. Es greifen daher auch Vorgaben der Düngemittelverordnung (DüMV). Obwohl der rechtliche Rahmen eine Hygienisierung des WD-Anteils nicht verlangt, wird aus seuchenprophylaktischer Sicht die Hygienisierung auch des WD empfohlen.

Auch für die nur WD vergärende Gemeinschaftsanlage 2a ist die Hygienisierung des WD nicht vorgeschrieben, allerdings gilt aufgrund der hohen Zahl beteiligter Landwirte, dass zur Verminderung des Übertragungsrisikos von Krankheits- und Tierseuchenerregern Infektionskreisläufe mittels Pasteurisierung oder thermophiler Behandlung unterbrochen werden sollten. Für die Betriebe 2b und 2c gelten aufgrund der behandelten Fettabscheiderrückstände tierischen Ursprungs bzw. der Küchen- und Speiseabfällen neben den bereits angesprochenen Rechtsverordnungen zusätzlich die Viehverkehrsverordnung (ViehVerkV 2004), aufgrund der eine Erhitzung des betreffenden Koferments tierischen Ursprungs auf 70 °C erforderlich wird. Bei Biogasanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben mit Nutztierhaltung ist diese Pasteurisierung (70 °C, 1 h) vor dem Verbringen der Kofermente auf den Betrieb durchzuführen.

Anlage 2d verarbeitet neben WD behandlungspflichtige Bioabfälle und Lebensmittel tierischer Herkunft (Kategorie 3-Material nach Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 ). Somit greifen die Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 –, die BioAbfV sowie die DüMV und die DüngeV. Eine Hygienisierung nach der BioAbfV kann durch thermophilen Betrieb des Biogasreaktors gewährleistet werden, wobei die Kategorie 3-Materialien zusätzlich einer Pasteurisierung zu unterziehen sind. Alternativ kann nachkompostiert werden (nach Feststoffseparation). Die separierte Flüssigfraktion muss vor einer landbaulichen Verwertung ebenfalls pasteurisiert werden.

### 3 Technische Ausgestaltung der Hygienisierung

Die thermophile Betriebsweise ist nur nach BioAbfV, nicht nach Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 als Verfahren der Hygienisierung benannt. Die BioAbfV sieht hierbei 55 °C Betriebstemperatur bei 24 h Mindestverweilzeit und 20 Tage hydraulische Verweilzeit im Reaktor vor.

In Rührkesselfermentern werden Substrate sehr schnell verteilt und sind oftmals bereits nach wenigen Stunden im Ablauf nachweisbar. Sollen die 24 h Verweilzeit garantiert werden, ist eine stoßweise Beschickung und Entnahme im 24-Stunden-Rhythmus erforderlich. Diese Betriebsweise ist aus prozessbiologischer Sicht ungünstig, da sie zu einem sehr störanfälligen Gärprozess führt.

In Pfpfstromfermentern kommt es zu einem unterschiedlichen Verhalten von Feststoffen und gelösten Stoffen: während sich Feststoffe wie ein Pfpfen von der Eintrags- zur Austragsseite bewegen, verteilen sich gelöste Stoffe innerhalb weniger Stunden im gesamten

Faulraum. Es kann daher auch in diesem Fall nicht ausgeschlossen werden, dass Substrat in weniger als 24 h wieder ausgetragen wird.

Pasteurisierung: Pasteurisierungseinheiten können vor oder nach dem Vergärungsprozess eingesetzt werden. Bei der Pasteurisierung vor dem Prozess kann eine Teilstrompasteurisierung (nur der pasteurisierungspflichtige Abfallanteil) oder eine Vollstrompasteurisierung (auch nicht pasteurisierungspflichtige Substrate, wie z. B. Gülle bei der Kofermentation) durchgeführt werden. Bei der Pasteurisierung nach der Vergärung muss in jedem Fall der gesamte Materialstrom erhitzt werden.

Für nicht pump- oder fließfähige Abfälle (z. B. Bioabfälle aus Haushalten) ist eine Pasteurisierung vor der Vergärung grundsätzlich schwierig zu realisieren, sofern nicht eine Verflüssigung, z. B. mit Flüssigmist, erfolgt. Nach Durchlaufen durch den Reaktor ist das Gärgut homogener, eine nachgeschaltete Pasteurisierung ist daher weniger störanfällig, weil Ab- und Anlagerungen weniger häufig auftreten. Da jedoch das gesamte Gärgut behandelt werden muss, ist die Nachpasteurisierung bei Kofermentationsanlagen oft teurer.

Die Pasteurisierung kann in Tanks mit innen- oder außenliegenden Wärmetauschern erfolgen. Für kleinere Anlagen werden in der Regel preiswerte innen liegende Wärmetauscher eingesetzt, wobei die Gefahr von Anbackungen oder Ablagerungen auf den Heizspiralen in Kauf genommen wird. Um hinreichende Wärmeübergangswerte zu erreichen, muss der Aufheizbehälter ein Rührwerk besitzen. Ab ca. 25–35 m<sup>3</sup>/d zu erhitzendem Material schwindet der Preisvorteil von Systemen mit innenliegenden Wärmetauschern.

Während bei Teilstromverfahren oft ein Hygienisierungsbehälter im Batch-Betrieb gefahren wird (Aufheiz-, Verweil- und Entleerungsphase nacheinander), bietet sich bei der Vollstromhygienisierung an, ein System mit zwei oder idealerweise drei Behältern zu installieren. Während des Betriebes befinden sich dabei immer ein Behälter im Entleerungs-, einer im Befüllungs- und einer im Verweilmodus. Durch das parallele Befüllen und Entleeren wird ein kontinuierlicher Anlagenbetrieb (Beschickung, Prozessbiologie) erreicht und es kann ein Großteil der Wärme aus der Hygienisierung zurückgewonnen werden.

#### 4 KTBL-Vorschlag zur Novellierung des Anhangs 2 BioAbfV

Mit der Hygienisierungsleistung von Biogasanlagen und der Optimierung des Hygiene-Prüfsystems der BioAbfV haben sich verschiedene durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt e. V. (Az. 08965 und 15008) bzw. im Rahmen des UFOPLAN (FKZ. 200 33 331) geförderte Vorhaben befasst. Das KTBL war in die Vorhaben eingebunden mit dem BMU-Auftrag (UFOPLAN-FKZ. Nr. 903 33 397), die aus den wissenschaftlichen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse für die Praxis umzusetzen und mit der Fachöffentlichkeit abzustimmen. Im Rahmen dieser fachtechnischen Begleitung wurde die KTBL-Arbeitsgruppe „Hygieneprüfsystem für Vergärungsanlagen“ gegründet, die auch den nun vorliegenden Textvorschlag zur Überarbeitung des Anhangs 2, BioAbfV verabschiedet hat.

Anhang 2 BioAbfV wurde neu strukturiert, um seine Praktikabilität für die vollziehenden Behörden zu verbessern. Die Entwicklung innovativer Lösungen wird unterstützt; diese sollen mit Hilfe eines Sachverständigen auf ihre Hygienisierungsleistung hin überprüft werden.

Auch die gewählten neuen Begrifflichkeiten sollen die Verständlichkeit erhöhen:

- die „direkte Prozessprüfung“ wird in „Prozessprüfung“,
- die „indirekte Prozessprüfung“ in „Prozessüberwachung“ und

- die „Endproduktprüfung der hygienisierten Bioabfälle“ in „Prüfung der hygienisierten Bioabfälle“ umbenannt.

Für die Validierung einer Pasteurisierung ist im Vorschlag der KTBL-Arbeitsgruppe keine Prozessprüfung vorgesehen. Für die thermophile Vergärung wird eine Prozessprüfung in Verbindung mit der Bestimmung der Mindestaufenthaltszeit von Partikeln in der Anlage weiterhin als erforderlich angesehen, allerdings bei Verzicht auf den Prüfparameter Tabak-Mosaik-Virus (TMV). Für die Kompostierung wird die bereits praktizierte Prozessprüfung übernommen.

Da mit Verzicht des Parameters TMV der gegenüber der Kompostierung gewonnene Informationsgehalt für die thermophile Vergärung abgesenkt wird, werden aus Vorsorgegründen Aufbringungsbeschränkungen für sensible Anwendungsbereiche im Tabakanbau und Gartenbau vorgeschlagen. Zur Bestimmung der Prüfungszeitraums (Kontaktzeit der Prüforanismen im Fermenter) in thermophilen Biogasanlagen müssen Verweilzeitbestimmungen (Mindestverweilzeit) durchgeführt werden. Damit entfällt die für den biologischen Prozess so ungünstige starre 24 Stundenfrist.

Während grundsätzlich die Prüfung der hygienisierten Bioabfälle beim Verlassen der Anlage durchgeführt wird, kann bei landwirtschaftlichen Kofermentationsanlagen, welche pasteurisierte Bioabfälle und eigenerzeugte biologisch abbaubare Materialien einsetzen und die behandelten Gärreste ausschließlich im eigenen landwirtschaftlichen Betrieb verwerten, diese Prüfung direkt hinter der Pasteurisierungseinrichtung durchgeführt werden, sodass die bakteriologischen Kriterien insgesamt eingehalten werden können. Damit wird vermieden, dass in diesen Anlagen z. B. auch der Wirtschaftsdünger-Anteil ggf. einer Hygienisierung unterzogen werden muss. Überarbeitet wurde der Methodenteil des Anhangs 2, um den Prüflaboren eindeutige Handlungsanweisungen zu geben und damit die Reproduzierbarkeit der Untersuchungen zu ermöglichen.

## Anlagen zur Trinkwasserversorgung in Schweineställen – Planungsgrundsätze, Bewertungsmethoden und Schwachstellenanalyse *Drinking water supply systems in pig shets – Rules of design, methods of evaluation and analysis of weak points*

MICHAEL MARKS

B. Mannebeck Landtechnik GmbH, Industriestr. 7, D-48465 Schüttoorf

**Schlüsselwörter:** Schweine, Tränkwasserversorgung, Tränketechnik

**Keywords:** Pigs, drinking water supply, technology of drinking systems

### **Zusammenfassung**

*Der Wasserversorgung der Tiere wird in vielen Fällen nur wenig Beachtung geschenkt. Die sich daraus ergebenden Probleme sind nicht immer offensichtlich und werden deshalb nur schlecht erkannt. Um die Wasserversorgung für die Tiere zu optimieren ist es erforderlich, Schwachstellen in den Anlagen zu analysieren und abzustellen. Ebenfalls ist es erforderlich, die Planung von Trinkwasseranlagen bis auf Abteilebene zu systematisieren, um eine ausreichende Dimensionierung zu erreichen, die den Anforderungen zu jederzeit genügt. Hier ist insbesondere die Auswahl der richtigen Tränken und deren Einstellung von Bedeutung.*

*Unter gewissen Bedingungen kann auch die Erfassung des Wasserverbrauchs der Tiere von Bedeutung sein, um so frühzeitig auf Veränderungen im Gesundheitszustand des Bestandes hinzuweisen.*

### **Summary**

*Little attention is often paid to watersupply for animals. The resulting problems are not necessarily obvious and therefore often not well recognized. It is necessary for optimal animals watersupply to analyze weak points and to remedy deficiencies. Right from the planning stage it is recommended to optimise water supply installations down to compartment level. Only by sufficient dimensioning it is possible to comply demands at any time. Especially, the use of appropriate drinking systems and correct justification is important.*

*Determining water consumption of animals will be of importance to detect changes in health condition of livestock at an early stage.*

## 1 Einleitung

Die Versorgung von Schweinen mit Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität ist wesentlich für die Leistungsbereitschaft und die Gesundheit der Tiere. Dennoch wird diesem Aspekt der Tierproduktion nur selten die notwendige Aufmerksamkeit gewidmet, obwohl Wasser der preiswerteste Nährstoff für die Tiere ist.

Hauptaufgabe ist es, den Tieren eine geeignete Tränketchnik anzubieten, die eine kurze Anlernphase, eine bedarfsgerechte und stressfreie Wasseraufnahme und eine Minimierung der Wasservergeudung miteinander verbindet (KAMPHUES 1997).

Ziel der Arbeit ist es, die systematischen Schwachstellen in der Wasserversorgungstechnik auf den Betrieben zu analysieren und zu beschreiben.

Um auf der Tierebene eine ausreichende Wasserversorgung und ein leichtes Anlernen zu gewährleisten, sollen mit Hilfe von Messreihen Untersuchungen zu den Betätigungskräften und zum Durchfluss verschiedener Tränken durchgeführt werden.

Zusätzlich soll erfasst werden, in wie weit sich die Erfassung des Wasserverbrauchs als Managementfaktor in der Schweinehaltung eignet. Diese Information kann dem Landwirt helfen, die Gesundheitszustandes seines Tierbestandes zu überwachen und gleichzeitig frühzeitig warnen, wenn Erkrankungen im Verzug sind.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Fragebogenerhebung

Im Rahmen der Untersuchungen wurde ein dreiteiliger Fragebogen entwickelt, mit dem Schwachstellen im Bereich der Wasserversorgungsanlagen erkannt werden können. Dieser Bogen wurde auf 25 Betrieben in Nordrhein-Westfalen eingesetzt. Er wurde zusammen mit dem jeweiligen Betriebsleiter im Rahmen eines Stallrundganges ausgefüllt. Auf den Betrieben wurden verschiedene Messungen von Leitungsquerschnitten, Tränkeanbringung und Durchflussmessungen durchgeführt.

### 2.2 Untersuchungen an Tränken zur Durchfluss- und Betätigungskräfte

In den Laboruntersuchungen wurde der Durchfluss und auch die Betätigungskräfte in Abhängigkeit zum Wasserdruck erfasst. Die Durchflussmessung ist erforderlich, weil baugleiche Tränken in der Praxis bei gleicher Einstellung durch deutliche Unterschiede in den Durchflussraten auffallen. Die Betätigungskräfte sind von großer Bedeutung, weil vor allem kleine Ferkel einen möglichst einfachen Zugang zum Wasser haben sollten, um die Wasseraufnahme aus Zapfen- und Beckentränken schnellstmöglich zu erlernen.

### 2.3 Wasserverbrauchsmessung als Managementgröße

Auf einem ausgewählten Mastbetrieb mit einem Kammstall wurden drei Abteile mit einer Wasserverbrauchserfassungsanlage ausgestattet. Die Registrierung des Verbrauchs erfolgt

über eine Wasseruhr je Abteil. Die Erfassung des Verbrauchs erfolgt wiederum über einen Klimacomputer, der in der Lage ist, das Signal der Wasseruhr zu erfassen und an die Software weiter zu leiten. Die Software ist in der Lage, Mittels eines mathematisch-statistischen Modells wird der Wasserverbrauch ausgewertet und eine eventuelle Änderung des aktuellen Wasserverbrauchs wird von der Software im Nachgang angezeigt. Bei starken Abweichungen vom errechneten Wasserverbrauch wird eine Alarmmeldung heraus gegeben, die der Landwirt dann deuten muss.

### 3 Ergebnisse

Aufgrund der Vielfalt der Ergebnisse kann hier nur beispielhaft darauf eingegangen werden.

#### 3.1 Schwachstellenanalyse auf den Betrieben

Erwartungsgemäß gibt es bei der Auswertung der Fragebogenerhebung Betriebe, bei denen eine Häufung von Schwachstellen zu beobachten ist (Tabelle 1).

Bei Betrieben mit einer Häufung der Schwachpunkte davon auszugehen, dass es Engpässe bei der Wasserversorgung der Tiere gibt. In wieweit diese Engpässe zu Leistungsdepressionen führen, ist offen. Doch sind leichte Leistungseinbußen sehr wahrscheinlich. Die oben gemachten Aussagen zur Häufung der Schwachstellen auf den Betrieben lässt sich ebenso auf Abteilebene erstellen, wobei es ebenfalls zu einer Häufung einiger Betriebe kommt.

#### 3.2 Messung von Durchflussraten und zu Betätigungskräften verschiedener Tränken für den Einsatz in der Schweinehaltung

Bei der Messung der Durchflussraten von Tränken sind insbesondere Tränken für den Saug- und Absatzferkelbereich von größerer Bedeutung. Die Tiere trinken noch verhältnismäßig langsam, weshalb die Tränken nur geringe Durchflussraten realisieren sollten.

Aus diesem Grund sind viele Tränken in ihrer Durchflussrate mehr oder weniger genau einstellbar. Dennoch ist vor allem für Saugferkel der einstellbare Bereich der wesentlich größer als der nutzbare Bereich. Fehleinstellungen in diesem Bereich führen somit zu deutlich zu hohen Durchflussraten, so dass mit höheren Wasserverlusten zu rechnen ist (Abb. 1).

Ähnliche Beobachtungen ergeben sich beim Vergleich unterschiedlicher Tränken für einen Haltungsbereich und auch beim direkten Vergleich von baugleichen Tränken, die bei der selben Einstellung dennoch unterschiedliche Durchflussraten realisieren. Dies lässt sich auch in der Praxis immer wieder beobachten, ohne dass sich immer Gründe für die Unterschiede finden lassen.

Tab. 1: Problemhäufung auf den Betrieben

Betrieb	Pump- leistung gering	Kleiner Druck- speicher	Große Entfernung zum Stall	ohne Verteil- station	Ohne Druck- minderer	Eisen im Wasser / ohne Aufbe- reitung	Wasser- qualität	Summe
S 1			X			X		2
S 2	X		X	X			X	4
S 3		X			X		X	3
S 4			X					1
S 5					X	X		2
K 1			X		X		X	3
K 2	X	X			X		X	4
K 3		X			X	X		3
K 4			X		X			2
K 5			X		X			2
K 6			X		X	X	X	4
K 7		X			X	X		3
M 1		X		X	X	X		4
M 2								0
M 3		X	X		X			3
M 4			X	X	X			3
M 5			X		X	X		3
M 6			X	X	X	X		4
M 7	X	X			X			3
M 8			X	X	X	X		4
M 9					X			1
M 10		X		X	X			3
AM 1			X		X			2
AM 2		X	X		X			3
FA 1			X			X		2

(Auffällig, wenn Pumpenleistung  $\leq 2.500$  l/h, wenn Druckspeicher  $\leq 500$  l, wenn Stallentfernung  $\geq 75$  m und wenn Wasserqualität kritisch)

Für das schnelle Erlernen des Trinkens an einer Tränke sind die Betätigungskräfte von Bedeutung. Ziel muss die sehr leichte Betätigung der Tränke sein. Die Messungen zeigen, dass bedingt durch den technischen Aufbau der Tränken durchaus der Wasserdruck einen größeren Einfluss auf die Betätigungskraft von Tränken haben kann (Abb. 2).

Auch hier gibt es größere Unterschiede zwischen verschiedenen Bautypen von Tränken. Bei allen gleich ist jedoch die Eigenschaft, dass die Betätigungskräfte vom Wasserdruck abhängig sind.

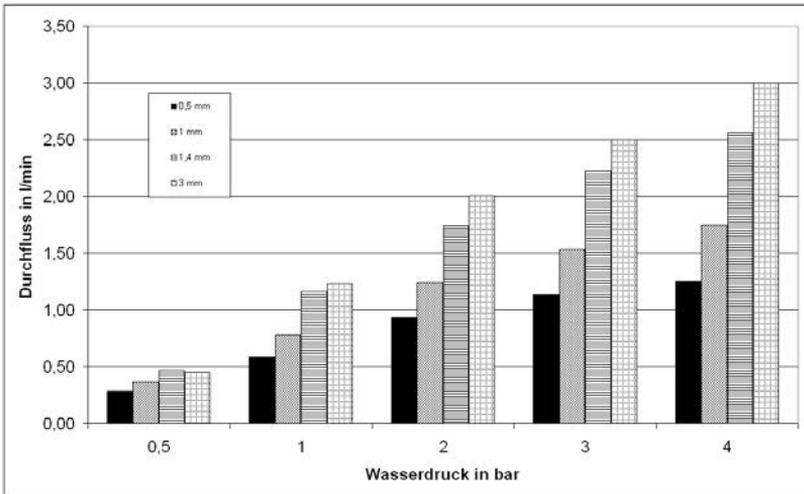


Abb. 1: Durchflussrate einer Beckentränke für Saugferkel in Abhängigkeit vom Wasserdruck bei verschiedenen Düsendurchmessern

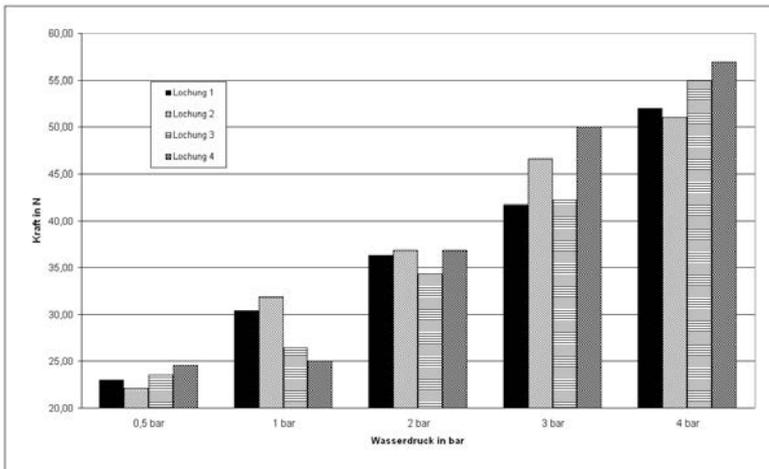


Abb. 2: Typische Verlaufskurve Betätigungskräfte (Kraftaufwand bis zur vollständigen Ventilöffnung)

### 3.3 Wasserverbrauch als Managementgröße

Betrachtet man den Wasserverbrauch auf Abteilebene, so lassen sich sehr gut Abhängigkeiten z. B. von der Stalltemperatur erkennen.

Soll der Wasserverbrauch jedoch als Managementgröße genutzt werden, so stellt sich die Frage, ab welcher Abweichung vom Mittelwert ein Hinweis für den Tierbetreuer erfolgen soll. Aus dem Wasserverbrauch der vergangenen Tage lässt sich hochrechnen, wie hoch der Verbrauch am aktuellen Tag sein soll. Mittels von Alarmgrenzen kann definiert werden, ob der Tageswasserverbrauch noch im normalen Rahmen ist, oder ob ein besondere Ereignis vorliegt.

Der Wert einer Managementsoftware hängt jedoch sehr eng mit der Zahl der Vorfälle und deren Gründe ab. Die Zahl der Vorfälle darf im Normalfall nicht zu hoch sein und jeder Vorfall muss auch einen bedeutenden Grund haben. Vorfälle, die vom Landwirt nicht gedeutet werden können und keine Auswirkungen bei den Tieren zeigen, dürfen nur sehr vereinzelt auftreten. Wie bei anderen Alarmsystemen wird eine Alarmmeldung nur dann auch beachtet, wenn ein Grund für die Alarmierung vorliegt, der für den Landwirt wichtig ist. Ist die Zahl der Fehlalarme zu groß, sinkt das Vertrauen in das System. Im Extrem kann es zu einer „echten“ Alarmierung kommen, die dann aufgrund vieler Fehlmeldungen ignoriert wird.

Ebenso kann über Abweichungen vom Mittelwert festgestellt werden, wie stark die Abweichung ist und ob ein Hinweis erfolgen soll. Die folgende Abbildung zeigt wie oft geringere und größere Abweichungen auftreten.

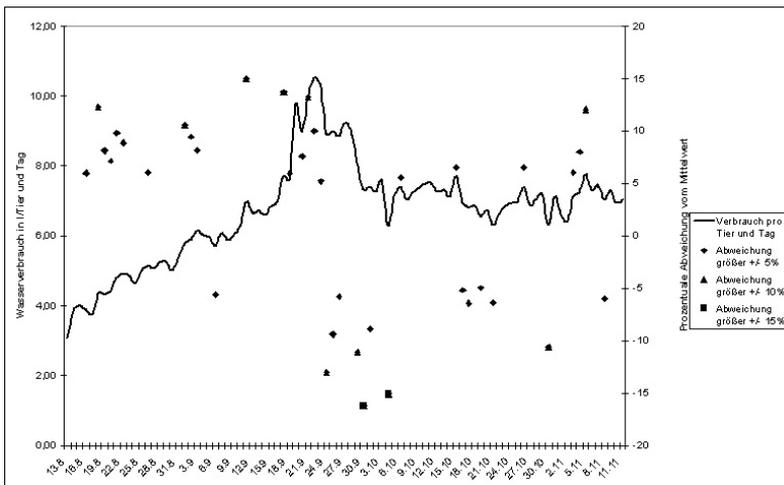


Abb. 3: Tageswasseraufnahme pro Tier beim Mastdurchgang von August bis Dezember 2003 und prozentuale Abweichungen von mehr als 5, 10 bzw. 15 %

#### 4 Literatur

KAMPUES, J., T.; SCHULZE HORSEL (1997): Tierärztlich relevante Aspekte der Wasserversorgung von Schweinen, Handbuch tierische Veredlung 1997.

## **Autorenliste**

### **List of Authors**

#### **A**

AARNINK, A. J. A. ....	277
ACHILLES, W. ....	31
AHRENS, T. ....	631
ALBERS, D. ....	613
AMBROŽ, P. ....	541
AMON, B. ....	343, 547, 553, 559
AMON, T. ....	343, 547, 553, 559
ANDREE, H. ....	205
APPEL, C. ....	469
ARENDS, F. ....	577
ARTMANN, R. ....	145, 607
ASENDORF, W. ....	271

#### **B**

BACHMAIER, J. ....	571
BAHR, C. ....	319
BARRA, M. ....	385
BAUER, J. ....	433
BAUMEISTER, J. ....	445, 493
BAUR, J. ....	217
BEA, W. ....	85
BECK, J. ....	37
BENC, F. ....	457
BERG, W. ....	565
BEYERSDORFER, G. ....	67
BILGEN, H. ....	535
BÖCK, S. ....	115, 331
BOCKISCH, F.-J. ....	1, 55, 61, 415
BODIROZA, V. ....	343
BOHNET, W. ....	55, 415
BÖRGERMANN, B. ....	73
BRINKMANN, J. ....	613
BROUČEK, J. ....	457

BRUNSCH, R. ....	175, 181, 565
BÜNGER, B. ....	43
BÜSCHER, W. ....	247, 265, 307, 421, 583

#### **C**

CHRISTIAN-BICKELHAUPT, R. ....	649
CIELEJEWSKI, H. ....	211
CULINA, M. ....	151

#### **D**

DALGAARD, I. ....	103
DE MONTIS, A. ....	385
DE MONTIS, S. ....	385
DECKER, A. ....	283
DIEKMANN, B. ....	307
DIJK, G.J. ....	139
DÖHLER, H. ....	643
DOLUD, M. ....	205

#### **E**

EFFENBERGER, M. ....	571
EGGER, U. ....	313
EISENSCHMIDT, R. ....	121
ELBE, U. ....	253
ENDERS, S. ....	115
ERNST, K. ....	199
EURICH-MENDEN, B. ....	31

#### **F**

FAHLBUSCH, K. ....	373
FESKE, I. ....	79
FISCHER, D. ....	217
FLEMING, K. ....	49
FOLTYS, V. ....	457
FREIBERGER, F. ....	475
FREIBERGER, M. ....	115
FRIEDLI, K. ....	109

FRIEDRICH, B. ....	73
FRÖHLICH, M. ....	559
FROSCH, W. ....	67
FÜRLI, C. ....	187

## G

GALLMANN, E. ....	259
GARCÉS, G. ....	571
GARTUNG, J. ....	13, 391
GEERDES, K. ....	211
GEORG, H. ....	121, 133
GERKEN, M. ....	61
GIERSE, A. ....	493
GJØDESEN, M. U. ....	157, 511
GRIMM, E. ....	265
GRIMM, H. ....	469
GRONAUER, A. ....	313, 355, 571, 601
GRUBER, W. ....	349
GÜTERMANN, S. ....	115
GYGAX, L. ....	109, 463, 499
GYMNICH, S. ....	241

## H

HÄHNE, J. ....	151, 271, 577
HÄIDN, B. ....	115, 127, 313, 403
HÄNUS, A. ....	457
HÄRMS, J. ....	163, 475, 481
HÄRTMÄNN, W. ....	31, 475, 493
HÄRTUNG, E. ....	85, 217, 259, 265, 301
HÄRTWIG, M. ....	13
HÄSSAN, E. ....	637
HÄUSER, R. ....	91, 499
HÄUSER, S. ....	439
HÄUSLEITNER, A. ....	559
HÄÜSSERMÄNN, A. ....	217
HÄINRICH, A. ....	397
HÄLM, M. ....	649

HÄRD, D. ....	235
HÄRRMÄNN, H.-J. ....	127, 439, 445
HÄSSE, A. ....	79
HÄSSE, D. ....	79
HÄSSEL, E.F. ....	49
HÄILTY, R. ....	19
HÄINZ, T. ....	121
HÄOCH, C. ....	13
HÄOGEWERF, P. ....	625
HÄOHMÄNN, T. ....	55
HÄÖLSCHER, R. ....	583
HÄOSTENS, V. ....	169
HÄOY, S. ....	193, 433
HÄÜGLE, T. ....	205
HÄUSCHKE, W. ....	181

## I

HÄDLER, C. ....	517
HÄPEMÄ, B. ....	625
HÄVÄNOVÄ-PÄNEVÄ, S.G. ....	277

## J

HÄJÄOÖB, S. ....	529
HÄJÄGER, P. ....	643
HÄJÄHNS, G. ....	619
HÄJÄS, H.-J. ....	367
HÄJÜNGBLÜTH, T. ....	37, 85, 91, 217, 259

## K

HÄKÄISER, F. ....	355
HÄKÄUFMÄNN, C. ....	499
HÄKÄUFMÄNN, O. ....	73, 319
HÄKIC, P. ....	427
HÄKIPP, D. ....	61
HÄKISÄC, P. ....	457
HÄKIÜNTKE, M. ....	373
HÄKLÄGES, S. ....	649

KLIMETSCHKE, H.-J.....	181	MOITZI, G. ....	547
KLINDT WORTH, K. ....	493	MORIZ, C. ....	223
KLINDT WORTH, M. ....	445, 493	MÖSEN BACHER, I.....	559
KLOCKE, M.....	517	MÜLLER, H.-J.....	409
KNOOP, S. ....	193	MUNDT, K. ....	517
KÖGLER, H.....	127	MUSSLICK, M.....	67, 289
KOOPMAN, W. J. ....	139		
KOSCH, R. ....	283	<b>N</b>	
KRAUSE, K.-H.....	289	NAATJES, M.....	205
KREHL, I.....	175	NESER, S. ....	313, 403, 601
KREIMEIER, P.....	55, 61, 415	NEUFFER, I. ....	499
KRUG, E.....	451	NIEBAUM, A. ....	643
KRYVORUCHKO, V.....	343, 547, 553, 559	NYDEGGER, F. ....	523
KUHLICKE, J. ....	463		
KÜLCÜ, R.....	589	<b>O</b>	
KUSCH, S. ....	361	OECHSNER, H.....	361
		OHNESORGE, M.....	493
<b>L</b>		ORDOLFF, D.....	151, 505
LAURS, A. ....	487	OSSENT, P.....	109
LEBUHN, M. ....	571	OTTO, C.....	43
LECKER, J.....	115	ÖZ, H.....	535
LEHMANN, B.....	445, 493		
LEINKER, M.....	301	<b>P</b>	
LEUSCHNER, P.....	211	PEIS, R.....	115
LINKE, S. ....	121, 289	PETERSEN, B.....	241
		PFLANZ, W.....	37
<b>M</b>		PHILIPP, W.....	649
MACHÁLEK, A. ....	541	PILZ, M. ....	67
MACK, A.....	241	PITSCHMANN, T. ....	25
MANTEUFFEL, G. ....	199	PÖLLINGER, A. ....	559
MARAHRENS, M. ....	43	PUPPE, B.....	199
MARCINISZYN, E.....	649		
MARKS, M.....	655	<b>R</b>	
MAYER, C. ....	109, 463	RASMUSSEN, D.K. ....	97
MELSE, R.....	295	REINHARDT-HANISCH, A.....	301
MICHAEL, C.....	439	REINHOLD, G. ....	67
MIHINA, S.....	457	REUBOLD, H.....	127

ROSE, M. ....	445
ROSE, S. ....	181
ROSS, A. ....	253

## S

SAVARY, P. ....	91
SCHÄFER, I. ....	421
SCHÄFFER, D. ....	43
SCHEIBE, K. ....	319
SCHICK, M. ....	229, 523
SCHIER, F. ....	265
SCHIERL, R. ....	313
SCHLAGHECK, H. ....	7
SCHLATTMANN, M. ....	355
SCHMITT-PAUKSZTAT, G. ....	307
SCHMITZ, T. ....	241
SCHNEICHEL, H.-W. ....	649
SCHNEIDER, F. ....	313, 601
SCHNEIDER, T. ....	307
SCHÖN, P.C. ....	199
SCHRADE, H. ....	37
SCHRADER, L. ....	43
SCHUILING, E. ....	625
SCHULZE WESTERATH, H. ....	109, 463
SCHURICHT, T. ....	187
SEUFERT, H. ....	235
SIMON, J. ....	403
SMITS, D. ....	625
SONCK, B. ....	169
ŠOTNIK, J. ....	595
SPIESSL-MAYR, E. ....	325
STEFFENS, G. ....	253
SUHR, C. ....	205
SZABO, E. ....	421

## T

THIO, T. ....	109
---------------	-----

THOLEN, E. ....	211
THURNER, S. ....	331
TROXLER, J. ....	37, 85
TÜRK, M. ....	529

## U

UDE, G. ....	121, 133
UHRINCAT, M. ....	457
UMINSKI, K. ....	13
UMSTÄTTER, C. ....	337

## V

VAN CAENEGEM, L. ....	19
VAN DEN WEGHE, H. ....	49, 253, 283, 373
VAN DER WIJNGAART, A. J. H. ....	379
VAN DOOREN, H. J. C. ....	139
VEGRICHT, J. ....	541
VENZLAFF, F.-W. ....	409
VERDOES, N. ....	139
VON BORELL, E. ....	301, 439
VORLOP, K.-D. ....	151, 271

## W

WAGNER, A. ....	247
WALLENFANG, O. ....	307
WALTER, K. ....	619
WANKA, U. ....	67
WEBER, M. ....	451
WEBER, R. ....	97
WECHSLER, B. ....	91, 97, 109, 499
WEILAND, P. ....	631, 637
WENDL, G. ....	163, 325, 331, 475, 481
WENSAUER, E. ....	601
WILDERER, P.A. ....	571
WILLERS, H.C. ....	295
WINCKLER, C. ....	253
WRIESKE, S. ....	415

## **Y**

YALDIZ, O..... 589

## **Z**

ZÄHNER, M. .... 325

ZENKE, T..... 529

ZERBE, F. .... 43

## Chronik

### Internationale Tagungen „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“

Nr.	Veranstalter	Vorträge und Teilnehmer	Ort und Termin
1	Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Landtechnik	23 Vorträge einzügige Veranstaltung 126 Teilnehmer	Gießen 15.03. Exkursion 16./17.03.1993
2	Institut für Agrartechnik Bornim Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für angewandte Nutztierwissenschaften	49 Vorträge zweizügige Veranstaltung 180 Teilnehmer	Potsdam 13.03. Exkursion 14./15.03.1995
3	Christian-Albrecht-Universität Kiel, Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik	68 Vorträge dreizügige Veranstaltung 225 Teilnehmer	Kiel 11./12.03.1997
4	Technische Universität München, Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik Freising-Weihenstephan	70 Vorträge 25 Poster dreizügige Veranstaltung 315 Teilnehmer	Freising 09./10.03.1999
5	Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik	65 Vorträge 40 Poster dreizügige Veranstaltung 331 Teilnehmer	Hohenheim 06./07.03.2001
6	Georg-August Universität Göttingen, Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems	63 Vorträge 42 Poster dreizügige Veranstaltung 348 Teilnehmer	Vechta 25.03. Exkursion 26./27.03.2003
7	Bundesforschungsanstalt für Landwirt- schaft, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung	65 Vorträge 50 Poster dreizügige Veranstaltung ca. 350 Teilnehmer	Braunschweig 01.03. Exkursion 02./03.03.2005