

10th Conference Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming

Herausgeber/Editor

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL)

KTBL-Tagungsband
KTBL-Conference Proceedings

2011

VDI-MEG

KTBL

10. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2011
in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung



10. Tagung

Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung

27.–29. September 2011 in Kiel

10th Conference

Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming

September 27th–29th, 2011 in Kiel, 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 | Germany



Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Darmstadt
Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL)
Darmstadt | Germany



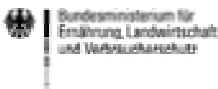
Europäische Gesellschaft landwirtschaftlicher Ingenieure (EurAgEng)
Silsoe | Großbritannien
European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng)
Silsoe | Great Britain

Ausrichter / Local Arrangements



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik
University of Kiel, Institute of Agricultural Engineering | Germany

Förderer / Financial Support



Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
(BMELV)
Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection
Bonn, Berlin | Germany

Programmausschuss

Scientific Committee

Prof. Dr. E. Hartung | Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Vorsitzender)
Prof. Dr. R. Brunsch | Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)
Prof. Dr. W. Büscher | Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Dipl.-Ing. G. Franke | Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel
Prof. Dr. T. Jungbluth | Universität Hohenheim
Prof. Dr. O. Kaufmann | Humboldt-Universität Berlin
Ing. Agr. (ETH) R. Kaufmann | Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Schweiz
Prof. Dr. Ir. H. Van den Weghe | Georg-August-Universität Göttingen
Dr. G. Wendl | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
Prof. Dr. M. Ziron | Fachhochschule Südwestfalen

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 responsible for contents of their contribution.

© 2011

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 | 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.

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Redaktion

Dr. A. Häußermann | Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Lektorat

Christine Weidenweber, Weibersbrunn | Claudia Molnar, KTBL

Druck

Druckerei Lokay | Reinheim

Vertrieb

KTBL | Darmstadt

ISBN 978-3-941583-55-9

Vorwort

Die vielseitigen Herausforderungen im Bereich zukunftsfähiger Haltungssysteme für landwirtschaftliche Nutztiere bedingen einen stetigen interdisziplinären Austausch des wissenschaftlichen und empirischen Kenntnisfortschritts. Innovative und regional angepasste Betriebslösungen, die mit dem fortschreitenden Strukturwandel in der europäischen Landwirtschaft abgestimmt sind, sowie einheitliche und nachvollziehbare Bewertungsmaßstäbe sind notwendiger denn je. Darüber hinaus werden Ideen und Impulse zur Entwicklung nachhaltiger Zukunftskonzepte und Strategien in der Tierhaltung benötigt.

Die 10. Internationale Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“ 2011 in Kiel bietet mit Blick auf aktuelle und zukünftige Anforderungen ein wichtiges Diskussionsforum für den wissenschaftlichen und empirischen Kenntnisfortschritt in den Themenbereichen Tiergerechtigkeit und Umweltwirkung von Haltungssystemen für die landwirtschaftliche Nutztierhaltung, Landwirtschaftliches Bauwesen, Arbeitswirtschaft und -organisation, Melken, rechnergestützte Systeme und elektronische Tierkennzeichnung.

Das Interesse der Verbraucher an erhöhten Standards für die Tiergerechtigkeit von Haltungssystemen für landwirtschaftliche Nutztiere versuchen europäische Verbände mit wissenschaftlich erarbeiteten Gütesiegeln zu beantworten, wie z.B. „Beter Leven“ in den Niederlanden oder das freiwillige Tierwohl-Label in Deutschland. Die Herausforderungen, die solche Gütesiegel mit sich bringen, und die Kriterien, die hierfür herangezogen werden, sind der Themenschwerpunkt des diesjährigen Plenarvortrags. Das vorgestellte Tierwohl-Label basiert auf einem Silber- und Goldstandard, zunächst für die Haltung von Mastschweinen und Mastgeflügel, der von Wissenschaftlern der Universitäten Göttingen und Kassel und des Friedrich-Loeffler-Instituts in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Tierschutzbund e.V., dem Verein für tiergerechte und umweltschonende Nutztierhaltung e.V. (Neuland) und verschiedenen Unternehmen, entworfen wurde.

Mit Blick auf die Tiergerechtigkeit und die Umweltwirkung von Haltungssystemen für Geflügel, Rinder, Schweine und Pferde zählen, neben verschiedenen Vorträgen zu tiergerechten Haltungsverfahren, selbstverständlich auch Entwicklungen bei der Zuluftführung, Emissionen in der Abluft von Anlagen zur Tierhaltung sowie die elektronische Tierkennzeichnung und die frühzeitige Erkennung von Erkrankungen, insbesondere in der Milcherzeugung, zu den umfangreichen Themen der diesjährigen Tagung. Hierfür sind mehrere Themenblöcke sowie ein Impulsreferat zum Thema Milchentzug und eine Vielzahl von ausgestellten Postern vorgesehen.

PROF. DR. EBERHARD HARTUNG
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik

Kiel, September 2011

Foreword

The manifold challenges in respect of adequate future husbandry systems for livestock require a continuous interdisciplinary exchange of the progress in scientific and empiric knowledge. Innovative and regionally fitted farm solutions, which are in accordance with the advancing structural changes in European agriculture, as well as standardised and reproducible evaluation criteria, are absolutely essential. Moreover, ideas and incentives for developing sustainable future concepts and strategies in animal husbandry are required.

The 10th International conference on “Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming” 2011 in Kiel offers a sound forum for discussing the progress in scientific and empiric knowledge of important topics, such as animal welfare, environmental impacts of livestock husbandry systems, farm buildings, occupational science and management, milking, computer-based systems and electronic animal identification.

Consumer demands for improved animal welfare standards in livestock husbandry systems increased the efforts of European associations to develop quality labels on a scientific basis, such as “Beter Leven” in the Netherlands or the optional “Tierwohl-Label” in Germany. The challenges of such quality labels and the basic assessment criteria involved are the thematic focus of this year keynote presentation. The herein presented “Tierwohl-Label” started with standards for husbandry system designs for fattening pigs and broilers. Silver and gold standards were defined by scientists of the universities of Gottingen and Kassel and Friedrich Loeffler Institute, in cooperation with the German Animal Welfare Association (Deutsche Tierschutzbund e.V.), the Association for animal and environment friendly livestock systems (Neuland e.V.), and several business partners.

Animal welfare and environmental impacts of husbandry systems for poultry, dairies, pigs and horses are addressed not only in numerous presentations on animal friendly husbandry systems but of course also in a number of presentations on developments in ventilation design, exhaust air emissions from livestock husbandry, electronic animal identification, and early detection of diseases particularly in dairy production. All of these are comprised in a number of thematic sessions, an introductory note on machine milking and numerous poster presentations.

PROF. DR. EBERHARD HARTUNG
Christian Albrechts University Kiel
Institute of Agricultural Engineering

Kiel, September 2011

Inhalt

Management, Organisation und Arbeit

- Erste Erfahrungen zum Weidemanagement bei Jungrindern auf Almen
mit einem GPS- und GSM-basierten Trackingsystem
*First experiences about pasture management with young cattle on alpine
pastures using a GPS- and GSM based livestock tracking system*
STEFAN THURNER, GEORG NEUMAIER, GEORG WENDL 1
- Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Ortungssystems zur
Verbesserung des Herdenmanagements eines Milchviehbetriebes
*On-Farm Feasibility Study on Realtime Positioning of Dairy Cows
to Facilitate Herdmanagement*
HEIKO GEORG, TOBIAS ROSE, URBAN HELLMUTH 10
- Automatische Fütterungssysteme zur Optimierung der Milchviehhaltung
Automatic feeding systems for the optimization of dairy farming
ANNE GROTHMANN, FRANZ NYDEGGER, MATTHIAS SCHICK, CARLO BISAGLIA 17

Haltungsverfahren, tiergerechte Haltung

- Der Einfluss unterschiedlicher Lauf- und Liegeflächen auf die
Klauengesundheit bei Sauen in Gruppenhaltung
*Influence of different activity and lying areas on the health of
sows kept in groups*
RUDOLF WIEDMANN 25
- Klauengesundheit von Zuchtsauen – Ergebnisse einer
Verlaufsuntersuchung
Claw Health of Breeding Sows – Results of a Progression Study
DIRK SCHÄFFER, HEIDRUN NITZER, EBERHARD VON BORELL 33
- Untersuchungen zur Akzeptanz und Größe von Ferkelnestern
Investigations on acceptance and appropriate size of piglet nests
ECKHARD MEYER, MARTIN VOGEL, MARTIN WÄHNER 40
- Machbarkeitsnachweis des „Comfort Class“-Konzepts
Proof of Principle of the Comfort Class Concept
WIM HOUWERS, KAREL DE GREEF, HERMAN VERMEER 47
- GELAS: Gruppenhaltung mit Einzelbuchtsteuerung für laktierende Sauen
– Auswirkungen auf die Leistung, Gesundheit und Futteraufnahme
*GELAS: Group housing of lactating sows with electronically controlled
crates – Effects on reproductive traits, health and feed intake*
ANNA-LENA BOHNENKAMP, IMKE TRAULSEN, CHRISTIAN MEYER,
KARIN MÜLLER, JOACHIM KRIETER 55

Entwicklung eines mehrdimensionalen Bewertungssystems zur objektiven Bestimmung der Tiergerechtheit unter besonderer Berücksichtigung tierbezogener Kriterien und Indikatoren <i>Development of a multidimensional scoring system for an objective determination of animal welfare with special reference to animal related criteria and indicators</i>	
ANDREAS PELZER, OTTO KAUFMANN, HELMUT RICHTER, EVA HAMPEL.....	62
Ökologische Ferkelerzeugung – Möglichkeiten der Klimagegestaltung im Abferkelstall <i>Organic pig production – possibilities for the creation of the microclimate in the farrowing stable</i>	
MIRIAM ABRIEL, CHRISTINA JAIS.....	69
Entwicklung von Schieberentmistungsanlagen für Mastschweine <i>Development of manure scraper systems for fattening pigs</i>	
ALEXANDRA ETTINGER, ROLAND WEBER, BEAT STEINER, LORENZ GYGAX, BEAT WECHSLER, THOMAS JUNGBLUTH	77
Einfluss von Entmistungsschiebern auf die Herzaktivität und das Verhalten von Milchkühen <i>Effects of manure scrapers on cardiac activity and behaviour in dairy cows</i>	
MELANIE BUCK, KATHARINA FRIEDLI, BEAT STEINER, LORENZ GYGAX, BEAT WECHSLER, ADRIAN STEINER.....	84
Drinking behaviour of suckler heifers around calving period <i>Wasseraufnahme von Kalbinnen in der Zeit um die Kalbung in der Mutterkuhhaltung</i>	
JULIANA MAČUHOVÁ, CHRISTINA JAIS, PETER OPPERMANN, GEORG WENDL	91
Auslaufnutzung von Masthühnern unterschiedlicher Wachstumsintensitäten <i>Use of free range by broilers with different growth intensities</i>	
GERRIET TREI, BERNHARD HÖRNING, SABINE GEBHARDT-HENRICH.....	99

Melkverfahren, Eutergesundheit

Maschinelle Milchgewinnung und Infektionsrisiko der bovinen Milchdrüse – Eine Übersicht <i>Machine milking and infection risk of the bovine mammary gland – a review</i>	
JÖRN HAMANN.....	102

Beurteilung aktueller Sensortechnik für die Erkennung von klinischen und subklinischen Mastitiden auf Betrieben mit automatischem Melksystem <i>Evaluation of presently used sensor systems for detection of clinical and subclinical mastitis in automatic milking farms</i> MONIKA BRANDT, ANGELIKA HAEUSSERMANN, KARIN KNAPPSTEIN, EBERHARD HARTUNG	111
Vakuumverhalten in konventionellen und viertelindividuellen Melksystemen beim Melken <i>Vacuum behaviour in conventional and quarter-individual milking systems during milking</i> SANDRA ROSE-MEIERHÖFER, GUNDULA HOFFMANN, ULRICH STRÖBEL, REINER BRUNSCH.....	119
Einfluss des Tierindividuums auf die Genauigkeit der chemometrischen Analyse von Milchinhaltsstoffen auf Basis der NIR Spektroskopie <i>Influence of the individual animal on the accuracy of chemometric analysis of milk constituents on the basis of NIR spectroscopy</i> ANDREAS MELFSEN, ANGELIKA HAEUSSERMANN, EBERHARD HARTUNG	127
Einfluss des Zitzengummityps auf die Milchmenge und den Milchfluss: Vergleich von runden und dreieckigen Zitzengummis bei Milchkühen der Rassen Fleckvieh und Deutsch Holstein <i>Effects of liner type on milk yield and milk flow: Comparison of liners with round and triangular barrel shapes in herds with Simmental and Holstein cows</i> ANGELIKA HAEUSSERMANN, HANS-JÜRGEN RUDOVSKY, GÜNTER SCHLAISS, EBERHARD HARTUNG	135
Zur Prävalenz von Zitzenkonditionsstörungen in nord- und mitteldeutschen Milchviehherden <i>Prevalence of teat condition problems in dairy farms in Northern and Middle Germany</i> JAN-HENDRIK PADUCH, HILKE HAVERKAMP, DORIS KLOCKE, ISMAIL M. ABOGRARA, CLAUDIA ZINKE, VOLKER KRÖMKER.....	144
Variability of Milking Frequency and Intervals between Milkings in Automatic Milking Systems <i>Variabilität der Melkfrequenz und Zwischenmelkzeit beim Melken mit Automatischen Melksystemen</i> ARMINS LAURS, JURIS PRIEKULIS.....	150
Feeding Milk Cows with Concentrated Feed using Milking Robots and Feeding Stations <i>Kraftfutterfütterung an Milchkühe in Melkrobotern und Futterstationen</i> JURIS PRIEKULIS, JĀNIS LATVIETIS, ARMĪNS LAURS.....	158

Lüftungsverfahren, Umweltwirkungen, Emissionen

- Entwicklung und Bewertung von Verfahren zur Reinigung von Abluft aus Geflügelhaltungen
Development and assessment of poultry exhaust air treatment processes
JOCHEN HAHNE 164
- Ammoniakemissionen aus Milchviehlaufställen mit Laufhof: Messungen mit einer neuen Tracer-Ratio-Methode auf sechs Praxisbetrieben
Ammonia emissions from loose housing with outdoor exercise area for dairy cattle: measurements on six commercial farms using a tracer ratio method
SABINE SCHRADER, MARGRET KECK, KERSTIN ZEYER, LUKAS EMMENEGGER 171
- MRSA in der Luft und Abluft von Schweinehaltungen
MRSA in air and exhaust air of pig farms
UWE ROESLER, ANIKA FRIESE, JOCHEN SCHULZ, JOERG HARTUNG 179
- Vergleich von Zuluftführungs- und Kühlungssystemen in der Schweinemast
Comparison of different air supply and cooling systems in pig fattening houses
JOACHIM THREM, EVA GALLMANN, WILHELM PFLANZ, THOMAS JUNGBLUTH 182
- Kühlung von Schweineställen durch Unterflur-Zuluftführung
Cooling pig stables through underground air inlet ducts
GÜNTER BEYERSDORFER, ULRICH GERNAND 189
- Systematisierung des Emissionsverhaltens von Offenställen – hier am Beispiel eines Boxenlaufstalles mit Sheddach
Systematisation of the emission behaviour of open stables – here using the example of a lying box loose housing with a shed roof
KARL-HEINZ KRAUSE, STEFAN LINKE 197
- Langzeitmessung zum Ausstoß umwelttoxischer und klimarelevanter Gase aus einem frei gelüfteten Milchviehstall
Long-term measurement of greenhouse gas and ammonia emissions from a cross ventilated dairy house
INGA SCHIEFLER, JESSICA HENSELER-PASSMANN, WOLFGANG BÜSCHER 204
- Estimation of ventilation rate and emission stream from a naturally ventilated barn using tracer gas technique
Ermittlung von Lüftungsrate und Emissionsstrom für einen frei gelüfteten Stall mithilfe der Tracergas-Methode
ALAA KIWAN, REINER BRUNSCH, WERNER BERG, HANS-JOACHIM MÜLLER, MANFRED GLÄSER, MERIKE FIEDLER, MOHAMED SAMER, CHRISTIAN AMMON, KRISTINA VON BOBRUTZKI, PETER SANFTLEBEN 210

Ammoniakemissionsfaktoren und Minderungsmöglichkeiten im deutschen landwirtschaftlichen Emissionsinventar – Milchvieh, Mastschweine, Legehennen <i>Ammonia emission factors and abatement measures in the German agricultural emission inventory – dairy cattle, fattening pigs, laying hens</i> BRIGITTE EURICH-MENDEN, HELMUT DÖHLER, HERMAN VAN DEN WEGHE.....	219
Einfluss der Reinigungsintensität und der Tierpräsenz auf das Ammoniakemissionsverhalten von Betonspaltenböden in Milchviehlaufställen <i>Effects of cleaning intensity and animal presence on the performance of ammonia emission from concrete slatted flooring in free stall dairy barns</i> STEFANIE K. RETZ, HEIKO GEORG, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE	226
Nachhaltige Nährstoffwirtschaft in intensiven Tierhaltungsregionen: Stickstoff- und Phosphorströme in der Schweinehaltung <i>Sustainability Nutrientmanagement in Intensive Livestock Areas (ILA): Nitrogen- and Phosphorflow in the pig production</i> DENNIS OTTEN, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE	232
Lachgas-Emissionen beim Futteranbau in unterschiedlichen Schafhaltungssystemen in Syrien <i>Nitrous oxide emissions from feed production in different keeping systems for sheep in Syria</i> OMAR HIJAZI, WERNER BERG, REINER BRUNSCH, SAMOUIL MOUSSA.....	238
Auswirkungen der Sekundärpartikel aus gasförmigen Emissionen aus Tierhaltungsanlagen auf die Feinstaubbelastung in NRW <i>Impact of secondary particles from gaseous emissions generated from livestock buildings on the particle matter load of NRW</i> KATHARINA STANDKE, WOLFGANG BÜSCHER	245
Feinstaubkonzentrationen in Mastschweineställen <i>Fine dust concentrations in fattening pig houses</i> JESSICA HENSELER-PASSMANN, LISA STERNBERG, BENEDIKT NIEHAUS, WOLFGANG BÜSCHER.....	251
Reduzierung von Emissionen und Förderung der Tiergesundheit in der Schweinehaltung durch Kombination von intelligenter Luftführung und Filtertechnik <i>Reduction of emissions and supply of animal health in pig husbandry by combination of intelligent air guidance and filter technology</i> MICHAEL MUSSLICK, KARL-HEINZ KRAUSE, ANDREAS KERSSSENS	258
Schalltechnik in der Landwirtschaft – Entwicklung eines Leitfadens <i>Noise technology in agriculture – development of a manual</i> MICHAEL KROPSCH, CHRISTOPH LECHNER.....	266

Potenzial und energetische Effizienz eines Erdwärmetauschers zur ganzjährigen Zuluftkonditionierung im Abferkelstall <i>Potential and energetic efficiency of an earth-tube heat exchanger for all-season conditioning of incoming air</i>	
ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE.....	273
Modellierung energetischer Vorgänge in rekuperativen Wärmetauschern unter Praxisbedingungen <i>Modelling of energy operations by recuperative heat-exchangers in practise</i>	
PETER RÖSMANN, WOLFGANG BÜSCHER.....	280
Einsatz und Ergebnisse einer Hochdruck-Vernebelungsanlage zur Kühlung eines Mastschweinestalls <i>Use of a high-pressure misting plant for cooling housing for fattening pigs</i>	
BERND LEHMANN, KLAUDIA KLINDTWORTH, JOCHEN BAUMEISTER.....	286
Hitzestress bei Milchrindern – Möglichkeiten der Minderung <i>Heat stress in dairy cows – possibilities of reduction</i>	
CHRISTIANE LOEBSIN, MOHAMED SAMER, KNUT SCHRÖTER.....	292

Innovative wissenschaftliche Methoden und Vorgehensweisen

Application of wavelet analysis for mastitis detection <i>Nutzung von Wavelets für die Erkennung von Mastitiserkrankungen</i>	
BETTINA MIEKLEY, IMKE TRAULSEN, JOACHIM KRIETER.....	300
Sensor-gestütztes Monitoring zur Vorhersage des Geburtstermins bei Milchkühen <i>Sensor-based monitoring as a predictor of the moment of parturition of Dairy Cows</i>	
SIRAJ RAYA, LUTZ HASSELMANN, OTTO KAUFMANN.....	308
Chemosensor-System zur Qualitätseinstufung von Silagen <i>Chemosensor-system for rating of silage quality</i>	
FABIAN ROSS, WOLFGANG BÜSCHER, TORSTEN HAAS, PETER BOEKER, KATRIN GERLACH, KARL-HEINZ SÜDEKUM, CHRISTIAN MAACK.....	315
Bestimmung von Rinderhaarallergenen in landwirtschaftlichen Betrieben mithilfe eines neu entwickelten Immunoassays <i>Determination of cow hair allergens on cattle farms using a newly developed immunoassay</i>	
E. ZAHRADNIK, I. SANDER, R. SCHIERL, L. BRUCKMAIER, C. FLEISCHER, A. FLAGGE, J. SÜLTZ, D. NOWAK, T. BRÜNING, M. RAULF-HEIMSOH.....	322

Praxistest zum Einsatz eines neuen Testsystems für Rinderhaar-Allergene <i>Practicability Test of a New Assay for Cow Hair Allergens</i> RUDOLF SCHIERL, JULIANE HEIZINGER, ANTJE BÖHLANDT, GISELA DIETRICH-GÜMPERLEIN, EVA ZAHRADNIK, LYDIA BRUCKMAIER, JOACHIM SÜLTZ, MONIKA RAULF-HEIMSOH, DENNIS NOWAK.....	329
---	-----

Bauwesen, Energie und Futtertechnik

Investitionsbedarf für Stallanlagen für die Bullenmast- und Mutterkuhhaltung <i>Investment requirements for bull fattening and mother cow housing facilities</i> JOCHEN SIMON, JOHANNES ZAHNER.....	334
Bewertung des Abflussverhaltens auf planbefestigten Laufflächenbelägen in Rinderställen <i>Evaluation of drainage characteristics of solid floor surfaces in cowshed traffic areas</i> BEAT STEINER, MARGRET KECK, MARKUS KELLER, KATHARINA WEBER.....	342
Analyse des Energieverbrauchs in der Ferkelproduktion <i>Energy efficiency in piglet production</i> STEFAN NESER, JOSEF NEIBER.....	350
Wirkung der Presswerkzeuge auf die Siliergutstruktur bei der Einlagerung von Silomais im Folienschlauch <i>Effect of pressing tools on feedstructure of silage corn during the crop compaction of bagging machines</i> MAREN HÖCKER, CHRISTIAN MAACK, WOLFGANG BÜSCHER.....	358
Investigations about Packing Machines for Chopped Forage in Turkey <i>Untersuchungen zu Maschinen für die Häckselgutverpackung in der Türkei</i> HAMDI BILGEN, HARUN YALCIN, BÜLENT ÇAKMAK, MEHMET EVRENOSOĞLU.....	364

Rechnergestützte Systeme und IT

Untersuchungen zur Erkennung von Lahmheiten bei Milchkühen durch automatische Erfassung der Bewegungsaktivität und des Liegeverhaltens <i>Investigations on the detection of lameness in dairy cows through automatic recording of movement activity and lying behaviour</i> MAHER ALSAOD, WOLFGANG BÜSCHER.....	372
Automatische Gesundheitsüberwachung bei Milchkühen mittels Infrarot-Thermographie <i>Automatic Health Monitoring for Dairy Cows by Infrared Thermography</i> ULRIKE FRANZE, STEFFI GEIDEL, ULRIKE HEYDE, ALEXANDER SCHROTH, TOM WIRTHGEN, STEPHAN ZIPSER.....	379

Entwicklung und Bewertung eines automatischen optischen Sensorsystems zur Körperkonditionsüberwachung bei Milchkühen <i>Development and validation of an automatic optical system for the control of the body condition score of dairy cows</i> J. SALAU, W. JUNGE, A. WEBER, U. BAUER, J. HARMS, O. SUHR.....	387
Eignung von Beschleunigungssensoren zur Erkennung des Grasens bei Milchkühen <i>Suitability of accelerometers to identify grazing in cows</i> KERSTIN BARTH, ISTVAN GYÖNGY.....	395
Entwicklung eines Messsystems für die Erfassung und Quantifizierung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten von Milchkühen <i>Development of a measuring system for recording and quantifying feeding and rumination activity of dairy cows</i> UWE RICHTER.....	400
Veränderung der Wiederkauaktivität von Milchkühen im brunstnahen Zeitraum <i>Changes in rumination activity of dairy cows during oestrus</i> CHRISTIAN PAHL, ANGELIKA HAEUSSERMANN, KATRIN MAHLKOW-NERGE, EBERHARD HARTUNG.....	409
Precision Dairy Management – Computergestützte Erfassung und kombinierte Nutzung brunstbedingter Aktivitäts-, Ruminations- und Lebendmasseveränderungen <i>Precision Dairy Management – Computer-aided collection and combined use of oestrus-related changes in physical activity, rumination and body weight</i> STEFANIE REITH, STEFFEN HOY.....	415
Ergebnisse zur Früherkennung von gesundheitlichen Störungen bei Sauen durch die Besuchsreihenfolge an der Abrufstation <i>Results of monitoring health disorders of sows by the visit order at electronic sow feeders</i> BIRGIT HINRICHS, DANIEL HOLLING, STEFFEN HOY.....	423
Untersuchung mit Thermo-Injektaten bei Ziegen zur Eignung von zwei Applikationsorten, zum Vergleich von zwei Messsystemen sowie bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur <i>Research in goats with bio-thermo-transponders and evaluation of two application points, two measurement systems and different ambient temperature</i> GRACIA UDE, HEIKO GEORG, ANJA SCHWALM.....	431

Elektronische Tierkennzeichnung, Transpondertechnologie

- Lesereichweiten von Transpondersystemen für die Schaf- und Ziegenkennzeichnung
Read distance of transponder systems for electronic tagging of sheep and goats
ULRIKE BAUER, FLORIAN GRANDL, JAN HARMS, SUSANNE GÄCKLER,
MICHAEL EISE, GEORG WENDL 439
- Eignung zweier UHF-Transponder für die elektronische Tierkennzeichnung
Suitability of two UHF transponders for animal identification
TOBIAS STEKELER, DANIEL HERD, BENJAMIN RÖSSLER, THOMAS JUNGLUTH 447
- Entwicklung und Bau eines RFID Mehrfachlesegerätes für FDX Transponder
Development and construction of a RFID Multireader for FDX transponder
DANIEL HERD, BENJAMIN RÖSSLER, TOBIAS STEKELER, THOMAS JUNGLUTH 454

Haltungsverfahren Pferde

- Effekte der Auslaufgestaltung auf die Herzfrequenzvariabilität (HRV) und das Verhalten von Sportpferden in Einzelboxen
Effects of configuration of turnout on heart rate variability (HRV) and behaviour of competition horses housed in single stalls
HANNA WERHAHN, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE 460
- Auswirkungen unterschiedlicher Auslaufgestaltungen auf die Bewegungsaktivität während des Auslaufes von Sportpferden in Einzelhaltung
Effects of the configuration of free exercise on activity patterns during turnout in competition horses housed in single stalls
HANNA WERHAHN, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE 466
- Einfluss von nächtlichem Weidegang auf das Bewegungsverhalten von Pferden
Influence of nocturnal grazing on the movement behaviour of horses
GUNDULA HOFFMANN, DORIS SCHENK, SANDRA ROSE-MEIERHÖFER,
REINER BRUNSCH 473
- Experimentelle Untersuchungen zur schwebstaubmindernden Wirkung bei der Zugabe von Flüssigadditiven zu Hafer für Pferde
Experimental research relating to the airborne dust reduction potencial of liquide additives mixed with oat for horses
FELIX GARLIPP, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE 481

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss einer neuentwickelten Technologie zur Partikelabscheidung bei Einstreumaterialien und Raufuttermitteln für Pferde <i>Experimental research relating to the influence of a new technology for particle separation of bedding materials and roughages for horses</i> FELIX GARLIPP, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE	489
--	-----

ICT-AGRI

The ICT-AGRI Meta Knowledge Base: an Internet-based Instrument to Assist Coordination of Research in Europe <i>Die ICT-AGRI Meta Knowledge Base: ein internetbasiertes Instrument zur Forschungscoordination in Europa</i> RENATE L. DÖRFLER, IVER THYSEN, JÜRGEN VANGHEYTE, KOEN C. MERTENS, MARTIN HOLPP, MARKUS LÖTSCHER	497
---	-----

Anhang

Anschriften der Autoren <i>Address of authors</i>	504
Autorenindex <i>Index of authors</i>	516
Schlüsselwörter	519
<i>Keywords</i>	523
Chronik <i>Chronicle</i>	527

Erste Erfahrungen zum Weidemanagement bei Jungrindern auf Almen mit einem GPS- und GSM-basierten Trackingsystem

First experiences about pasture management with young cattle on alpine pastures using a GPS- and GSM based livestock tracking system

STEFAN THURNER, GEORG NEUMAIER, GEORG WENDL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Vöttinger Str. 36, 85354 Freising

Schlüsselwörter: Almbewirtschaftung, Arbeitszeitbedarf, Beweidungsstrategie
Keywords: *alpine farming, labour input, grazing*

Zusammenfassung

Auf zwei Almen wurde der Einsatz von GPS-basierten Trackingsystemen an 8 Jungrindern (Herdengröße: 36 Tiere bzw. 19,2 Großvieheinheiten (GV)) über einen Almsommer hinweg untersucht. Die Trackingsysteme wiesen eine statische Genauigkeit zwischen 7,5 und 11,2 m auf (Median der Abweichung von der tatsächlichen Position). Der Anbringungsort des Systems am Hals (dorsal vs. lateral, getestet an einem Tier) hatte einen signifikanten Einfluss auf die im Median empfangene Anzahl an Datensätzen (88,2 vs. 33,3 %). Die anderen 7 Trackingsysteme erreichten an insgesamt 64 Tagen im Median Werte zwischen 42,9 und 87,5 %. Der gesamte Arbeitszeitbedarf, insbesondere für das unkalkulierbare „Suchen von Tieren“ konnte um 18,2 %/GV bzw. 33,6 %/Tier reduziert werden. Signifikante Unterschiede wurden bei der zurückgelegten Wegstrecke pro Gruppe, sowohl zwischen den Tiergruppen als auch zwischen den Almen festgestellt. Bereiche auf der Alm, die von den Tieren bevorzugt wurden, waren klar ersichtlich. Das Weidemanagement auf Almen profitiert erheblich vom Einsatz eines Trackingsystems.

Summary

On two alpine pastures, a GPS-based livestock tracking system (LTS) was tested on 8 young cattle (herd size 36 animals or 19.2 livestock units (LU)) during one season. The LTS showed a static accuracy between 7.5 m and 11.2 m (median deviation from true position). The position of the LTS at the neck (dorsal vs. lateral, tested on one animal) had a significant influence on the median number of received records (88.2 % vs. 33.3 %). During 64 days, a median ratio between 42.9 % and 87.5 % of the expected records could be received for the other 7 LTS. The total labour input for livestock control, especially for the unforeseeable task “searching for animals” could be reduced for the whole season by 18.2 %/LU or 33.6 %/head. Significant differences were found for the hourly walked distances between the groups and between the alpine pastures. Areas used and preferred by the cattle could be clearly identified. The grazing management on alpine pastures benefits to a high degree from the use of a LTS.

1 Einleitung

Während des vergangenen Jahrzehnts hat sich die Anzahl der aufgetriebenen Rinder im gesamten Alpenraum verringert (EUROSTAT, 2011). Gründe für den Rückgang der Auftriebszahlen sind der Strukturwandel in der Landwirtschaft, die hohe Arbeitsbelastung (HANDLER et al., 1999) sowie die anstrengende Arbeitsverrichtung bei der Bewirtschaftung von Almen (GFELLER, 2010). Neue Technik wie z. B. Trackingsysteme, deren Einsatz die Bewirtschaftung erleichtert und /oder besser planbar macht, kann daher entscheidend zur Erhaltung der Almwirtschaft beitragen. Derzeit werden zwei Trackingsysteme für landwirtschaftliche Nutztiere kommerziell vertrieben (das System „Hotstock“ von der Firma Hotsure in Lyttelton (Südafrika) mit weltweitem Vertrieb und das System „GPRS-Terminal“ von der Firma Telespor in Tromsø (Norwegen) mit Vertrieb nur in Norwegen). Das GPRS-Terminal wird nach Firmenangaben bei mehr als 10 000 Schafen in Norwegen eingesetzt. Ergebnisse zu den Auswirkungen auf die Arbeitswirtschaft oder zur Zuverlässigkeit des Systems liegen jedoch ebenso wenig vor wie Einsatzerfahrungen außerhalb Norwegens.

2 Zielsetzung

Ziel der Untersuchungen war es, die grundlegende Anwendbarkeit und Funktion eines Trackingsystems auf Almen zu testen sowie erste Erfahrungen und Daten mit einem Trackingsystem im praktischen Einsatz bei Rindern zu sammeln. Weiterhin sollten die Auswirkungen auf die Arbeitswirtschaft und das Potenzial für ein optimiertes Weidemanagement von Jungrindern auf Almen evaluiert werden.

3 Material und Methode

Auf der Seekarspitz in Tirol (Österreich) konnten zwei Almen, die Koglalm (Niederleger, 1290 m ü. Adria) und die Seekaralm (Hochleger, 1475 m ü. Adria) für die Untersuchungen genutzt werden. Die Koglalm verfügt über rund 8 ha Lichtweide und ca. 40 ha Waldweide, wobei zwei Landwirte (A und B) die Weiderechte nutzen. Auf der Seekaralm treiben vier Landwirte (A, B, C und D) insgesamt ca. 70 Großvieheinheiten (GV) auf die rund 72 ha Lichtweide und ca. 250 ha Waldweide auf. Die Weidesaison beginnt auf dem Niederleger Anfang Juni. Nach ungefähr vier Wochen, Anfang Juli, wechseln die Tiere auf den Hochleger. Bevor es Mitte September zurück ins Tal geht, weiden die Jungrinder ab Ende August für rund vierzehn Tage nochmals auf dem Niederleger. Dabei grasen die Tiere traditionell vom späten Nachmittag über Nacht bis zum folgenden Vormittag. Am Vormittag werden die Tiere in den Stall getrieben, wo sie bis zum frühen Abend bleiben und die Kälber zusätzliches Kraftfutter bekommen.

Im Jahr 2010 standen für die Untersuchung 36 Rinder (19,2 GV) von Landwirt A und B zur Verfügung, die sich in vier Gruppen aufteilten (je Landwirt eine Gruppe Kälber mit 6 und 8 Tieren sowie eine Gruppe Färsen mit 9 und 13 Tieren). Von den 36 Tieren wurden acht mit einem Trackingsystem (GPRS-Terminal) ausgerüstet, sodass sich in

jeder Gruppe mindestens ein Tier mit Trackingsystem befand. Eines der acht Tiere erhielt im letzten Monat zwei Trackingsysteme: eines dorsal und eines lateral am Hals. Die Trackingsysteme mit einem Gewicht von ca. 220 g wurden an einem handelsüblichen Nylon-Halsriemen befestigt, der mit einem zusätzlichen Gegengewicht mit ca. 350 g an den Tieren angebracht wurde (Abb. 1).



Abb. 1: GPRS-Terminal (10,7 x 7,6 x 3,7 cm) befestigt am Halsriemen mit Gegengewicht
 Fig. 1: GPRS-Terminal (10.7 x 7.6 x 3.7 cm) attached to collar with counter weight

Die Trackingsysteme waren so eingestellt, dass jede Stunde ein Datensatz mit den aktuellen geographischen Koordinaten und der Uhrzeit via Mobilfunknetz (General Paket Radio Service (GPRS)) an eine web-basierte Datenbank der Firma Telespor gesendet wurde. In den ersten beiden Monaten wurden die Positionsdaten am Laptop manuell in Google Earth kopiert um die Position der Tiere auf der Alm zu bestimmen; im letzten Monat stand ein einfaches Programm (Cow2KML, geo-konzept, Adelschlag, Deutschland) zur automatischen Anzeige der Positionen der Tiere zur Verfügung. Ein statischer Genauigkeitstest wurde nacheinander mit allen GPRS-Terminals auf einem genau eingemessenen Punkt vor der Seekaralm durchgeführt. Dabei variierte die Anzahl der ausgewerteten Positionsdaten pro Terminal aufgrund der unterschiedlichen Dauer, die für den Test während der Aufenthaltsdauer der Tiere im Stall zur Verfügung stand, und aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von gültigen Datensätzen. Weiterhin wurden Auswertungen zur Anzahl an gültigen Datensätzen im Vergleich zu den theoretisch möglichen Datensätzen über einen Zeitraum von 64 Tagen durchgeführt.

Im Jahr 2009 wurde der Arbeitszeitbedarf mit insgesamt 35 Jungrindern (23,4 GV) auf den selben Almen ohne den Einsatz von Trackingsystemen über 86 Tage aufgezeichnet (NEUMAIER, 2010). Die Almauftriebs-, -umtriebs- und -abtriebszeiten sowie die Weidezeiten waren wie im Jahr 2010. Der Arbeitszeitbedarf wurde täglich für das Aus- und Eintreiben (mit An- bzw. Abhängen, Kraftfutter zuteilen und Misten) sowie für die unregelmäßig durchzuführenden Tätigkeiten Tiersuche, zusätzliche Tierkontrolle und Treiben der Tiere (die Tiere wurden am Abend zu Orten mit gutem Futter getrieben, in der Hoffnung, dass die Tiere dort bis zum nächsten Morgen grasen und man die Tiere nicht suchen muss) jeweils separat manuell erfasst. Im Jahr 2010 wurde der Arbeitszeitbedarf mit Trackingsystem an 68 Tagen für alle Tätigkeiten am Morgen

(Eintreiben, Anhängen und Kraftfutterzuteilen) und am Abend (Abhängen, Austreiben und Misten) zusammengefasst manuell erfasst. Alle Tätigkeiten in Zusammenhang mit dem Trackingsystem (z.B. Abfrage der Daten am Laptop) wurden dabei berücksichtigt. Ein Treiben oder Suchen der Tiere war im Jahr 2010 durch die gegebene Kenntniss des Aufenthaltsorts nicht mehr nötig.

Zur Auswertung der geographischen Koordinaten sowie für statistische Auswertungen wurden die Programme Excel 2007 (Microsoft Corp.), ArcGIS 9.3. (ESRI Inc.) und SAS 9.1. (SAS Institute Inc.) verwendet. Für die Auswertungen wurden nur die in der Telespor-Datenbank als „gültig“ bezeichneten Datensätze verwendet. Ungültig waren die Datensätze, wenn sie entweder wegen einer fehlenden Verbindung zum Mobilfunknetz nicht übertragen werden konnten oder wenn keine geographischen Koordinaten generiert werden konnten, da der Empfang von vier Satelliten nicht möglich war. Für die Auswertung der mindestens zurückgelegten Wegstrecke pro Stunde und Tiergruppe wurden zunächst Positionsmittelwerte für die einzelnen Tiergruppen und Stunden errechnet. Dabei wurden für jeden Monat 7 Tage in den Zeiträumen jeweils vom 20.-30. Juni, 09.-19. Juli und 11.-19. August mit einem möglichst hohen Anteil an gültigen Positionsdaten ausgewählt. Die mindestens zurückgelegte Wegstrecke pro Tiergruppe wurde dann -ausgehend und endend- beim Stall entlang der direkten Verbindung zwischen den Punkten vermessen. Für die statistischen Auswertungen wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft und anschließend mit entsprechenden parametrischen (z.B. Tukey-Kramer-Test) oder nicht parametrischen Tests (z.B. Kruskal-Wallis-Test) auf Unterschiede geprüft. Die angegebenen Signifikanzniveaus „signifikant“, „hoch signifikant“ und „sehr hoch signifikant“ entsprechen p-Werten von $0,05 \leq p < 0,01$, $0,01 \leq p < 0,001$ und $p \leq 0,001$.

4 Ergebnisse

Ein statischer Genauigkeitstest der GPRS-Terminals ergab im Median eine Abweichung von der tatsächlichen Position zwischen 7,5 und 11,2 m. Das 75 %-Quartil der gemessenen Werte lag je nach Terminal im Bereich zwischen 11,5 und 20,4 m. Die Anzahl der empfangenen Datensätze pro Tag lag im Median zwischen 42,9 und 87,5 % der erwarteten Datenmenge (Abb. 2). Die signifikanten Unterschiede zwischen den GPRS-Terminals können nur bei Terminal 2 und 5 durch eine nicht optimale Anbringung am Tier bzw. durch ein häufiges Verrutschen erklärt werden. Terminal 4 war optimal am Tier angebracht und ein Verrutschen wurde nicht beobachtet. Allerdings zeigte dieses Terminal die größten Abweichungen von der tatsächlichen Position beim statischen Test. Der zusätzliche Vergleich der dorsalen und lateralen Position am Hals eines weiteren Tieres ergab einen sehr hoch signifikanten Unterschied zwischen den Positionen (Median laterale Position: 33,3 % (n = 25 Tage); Median dorsale Position: 88,2 % (n = 27 Tage)).

Ein hoch signifikanter Unterschied ergab sich bei der Auswertung der minimal zurückgelegten Wegstrecke pro Stunde und Tiergruppe zwischen dem Monat Juni auf der Koglalm (Mittelwert $78,9 \pm 22,0$ m) und dem Monat August auf der Seekaralm (Mittelwert $100,4 \pm 24,8$ m). Der Monat Juli (Mittelwert $96,7 \pm 18,9$ m) unterschied sich nicht signifikant von den anderen beiden Monaten. Die mindestens zurückgelegte

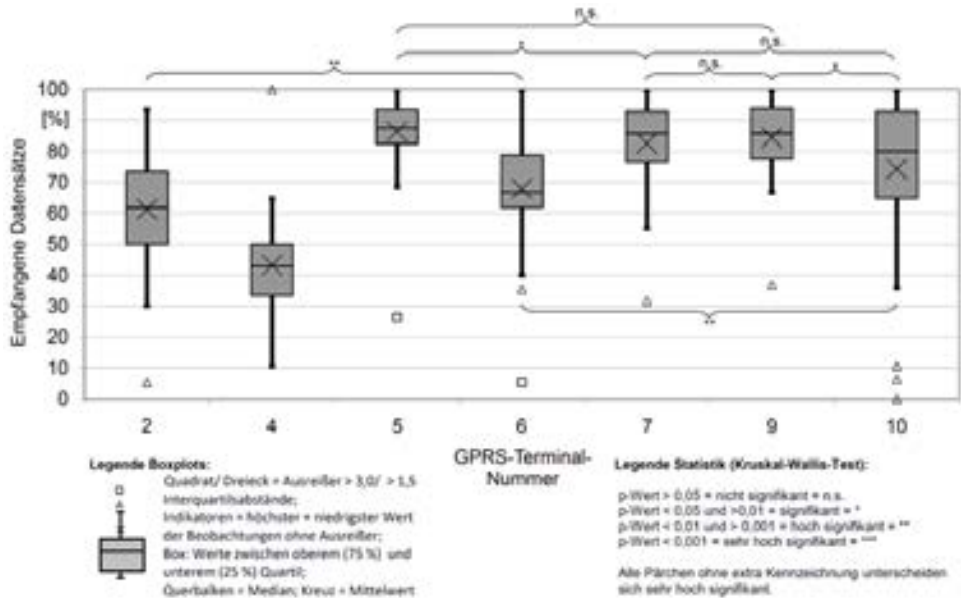


Abb. 2: Empfangene Positionsdatensätze pro Tag im Vergleich zur maximal erwarteten Datenmenge

Fig. 2: Comparison of the received number of position data with the expected number of position data per day

Wegstrecke im Juli war aber tendenziell (p -Wert = 0,053) länger als die Wegstrecke im Juni. Weiterhin konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Jungrindern eines Landwirts (Mittelwert $102,5 \pm 27,0$ m) und den Jungrindern (Mittelwert $87,8 \pm 19,4$ m) und Kälbern (Mittelwert $85,7 \pm 21,2$ m) des anderen Landwirts über den gesamten Beobachtungszeitraum nachgewiesen werden.

Die graphische Auswertung ergab zusätzliche Hinweise zur Optimierung der Weideführung. Bei der Betrachtung der erfassten Positionsdaten von allen Tieren über den gesamten Beobachtungszeitraum konnten Bereiche auf beiden Almen identifiziert werden, die während der Saison 2010 nicht von den Tieren zum Grasgenutz genutzt wurden. Weiterhin nutzten die einzelnen Tiergruppen (Jungrinder vs. Kälber) teilweise unterschiedliche Bereiche v.a. auf der Seekaralm. Bei der monatweisen Betrachtung der Gruppenmittelwerte zeigte sich, dass die Tiere im ersten Monat auf der Koglmalm (Juni) und im ersten Monat auf der Seekaralm (Juli) bevorzugt die Weidefläche im Bereich der stallnahen Lichtweide, in dem sich auch die Tränken und ein Großteil der ständig wasserführenden Quellen befindet, abgrasteten. Erst im zweiten Monat auf der Seekaralm (August) wurden die weiter entfernt gelegenen und oft auch steileren Weideflächen mit schlechterer Wasserversorgung und auch die Waldweide genutzt. Diese Flächen wurden also erst abgegrast, als auf den anderen Flächen kein Aufwuchs mehr vorhanden war.

Einen entscheidenden Einfluss hatte das Trackingsystem auf die Arbeitswirtschaft. Der Gesamtarbeitsaufwand für die Tierkontrolle konnte um 18 %/GV, von 21,4 APh/GV im Jahr 2009 auf 17,5 APh/GV im Jahr 2010, mithilfe des Trackingsystems reduziert

werden. Pro Tier betrachtet reduzierte sich die benötigte Arbeitszeit sogar um 33,6 %, von 14,3 APH/Tier im Jahr 2009 auf 9,5 APH/Tier im Jahr 2010.

Im Jahr 2009 beanspruchte die Tiersuche an 50 % der Tage zwischen 0 und 52 min (Mittelwert = 62 min), wobei an 11 Tagen zwischen 166 und 1000 min für die Tiersuche notwendig waren (Abb. 3). Das Eintreiben in den Stall erforderte bei der Hälfte der Tage zwischen 94 und 164 min. Zusätzlich wurden die Tiere an einzelnen Tagen ein weiteres Mal kontrolliert und dazu aufgesucht. Diese zusätzlichen Kontrollen erforderten an 50 % der Tage zwischen 0 und 30 min. Insgesamt wurde im Jahr 2009 für die Tätigkeiten am Morgen bei der Hälfte der Tage zwischen 99 und 232 min benötigt (Median = 146 min; Mittelwert = 187 min) wobei an 4 Tagen Extremwerte von 447 bis 1060 min auftraten. Die Extremwerte traten vor allem an Tagen mit Nebel auf, an denen z.B. liegende Tiere nur gefunden werden konnten, wenn man direkt auf diese Tiere stieß. Im Vergleich dazu wurden im Jahr 2010 mit dem Trackingsystem bei der Hälfte der Tage für dieselben Tätigkeiten am Morgen zwischen 80 und 193 min benötigt. Dabei lag der Median bei 123 min und der Mittelwert bei 143 min. Nur an einem Tag trat ein Extremwert mit 400 min auf. Der Hirte konnte das Trackingsystem in der Weise einsetzen, dass er am Morgen beim Aufstehen die Position der Tiere am PC kontrollierte, nach einer Weile erneut überprüfte und für den Fall, dass die Tiere bereits auf dem Weg zum Stall waren, abwartete, bis die Tiere näher kamen. Beim Vergleich des Arbeitszeitbedarfs ergibt sich somit ein Einsparpotenzial durch das Trackingsystem bei der Hälfte der Tage zwischen

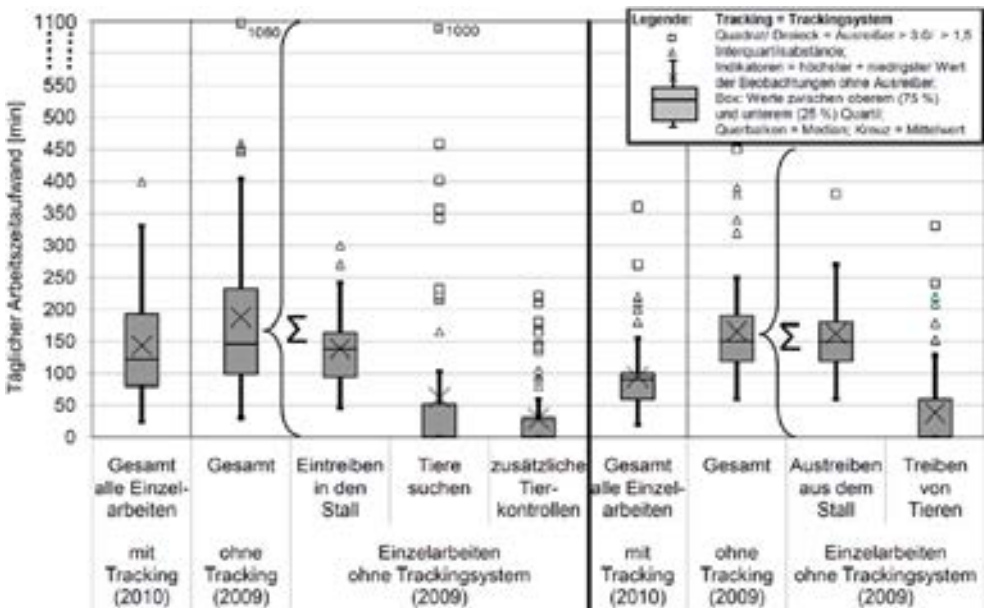


Abb. 3: Vergleich des täglichen Arbeitszeitaufwands am Morgen (links) und Abend (rechts) ohne Trackingsystem im Jahr 2009 und mit Trackingsystem im Jahr 2010

Fig. 3: Comparison of daily labour input in the morning (left) and in the evening (right) without trackingsystem in 2009 and with trackingsystem in 2010

19 und 39 min. Beim Median beträgt die Differenz 23 min pro Tag und im Mittel 44 min pro Tag. Weiterhin gab es mit Trackingsystem nur noch einen Tag mit einem Extremwert.

Für die Arbeiten am Abend benötigte der Hirte im Jahr 2009 an 50 % der Tage insgesamt zwischen 120 und 190 min, wobei der Median bei 150 min und der Mittelwert bei 166 min lag (Abb. 3). Im Jahr 2010 (mit Trackingsystem) benötigte der Hirte für alle Arbeiten am Abend bei der Hälfte der Tage zwischen 60 und 100 min (Median: 90 min, Mittelwert: 94 min). Beim Vergleich ergibt sich daher eine Zeitersparnis an 50 % der Tage von 60 bis 90 min (Median: 60 min, Mittelwert: 72 min). Ursache für diese große Zeitersparnis am Abend war nicht nur das Trackingsystem, da durch dessen Einsatz lediglich das Treiben der Tiere zu bestimmten Weideplätzen entfiel. Eine Änderung in der Routine beim Reinigen des Stalls und beim Austreiben aus dem Stall trug auch zur Zeitersparnis bei.

5 Diskussion

Die ermittelte statische Genauigkeit der GPRS-Terminals war für den Einsatzzweck ausreichend und ist typisch für GPS-Trackingsysteme ohne Korrektursignal (vgl. TROTTER et al., 2010). Die Anzahl der korrekt empfangenen Datensätze war bei einzelnen GPRS-Terminals sehr niedrig. Zum Teil konnte dies auf eine nicht optimale Position am Tier zurückgeführt werden. Daher ist eine ständige Kontrolle der Position am Tier erforderlich, um mindestens Werte von 80 % zu erreichen, die zur Sicherzustellung einer hohen Datendichte erforderlich sind. Die aufgrund der begrenzten Batterielaufzeiten gewählte Datendichte von einem Datensatz pro Stunde war für das schnelle und einfache Auffinden der Tiere durch den Hirten ausreichend. Bei detaillierteren Auswertungen zur Weidenutzung (z. B. Häufigkeit der Aufenthalte in einzelnen Arealen), die zur Ableitung von Managementempfehlungen oder zu Forschungszwecken notwendig sind, ist jedoch eine höhere Datendichte, z. B. ein Datensatz alle 10 min erforderlich.

Bei dieser Studie konnten Bereiche auf beiden Almen identifiziert werden, die von den Tieren nicht abgeweidet wurden. Generell sollte der Hirte sicherstellen, dass alle Bereiche der Alm in jedem Jahr abgegrast werden, da zum einen stehengebliebenes Gras im darauf folgenden Jahr von den Tieren noch weniger gefressen wird und zum anderen bei fehlender Mahd an diesen Stellen die Sukzession einsetzt und damit diese Flächen für die Beweidung nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse zur minimal zurückgelegten Wegstrecke zeigen, dass selbst mit einer geringen Datendichte von nur einem Datensatz pro Stunde, Auswertungen zum Tierverhalten möglich sind. Im Vergleich zu AUERNHAMMER und BRAUNREITER (2008), die auf der Feichtau-Alm in Oberösterreich (617 ha) bei Jungrindern zurückgelegte Wegstrecken von 208 m/h bis 625 m/h ermittelten, waren die in dieser Studie ermittelten Wegstrecken relativ kurz.

Der entscheidende Vorteil für den Hirten durch den Einsatz eines Trackingsystems ist die mögliche Arbeitszeitersparnis und damit verbunden eine bessere Planbarkeit der Einsatzzeiten und -dauer. Trotz des Umstands, dass die vorliegende Untersuchung nur Daten von zwei Jahren auf zwei Almen liefert, zeigt sich ein deutliches Einsparpoten-

zial beim Arbeitszeitaufwand. Vor allem die Extremwerte an einzelnen Tagen konnten mit dem Trackingsystem verhindert werden. Die große Spanne für den AKh-Bedarf, die HANDLER et al. (1999) auf 14 Galtviehalmen ermittelten zeigt, dass der Zeitaufwand sehr vom Gelände und dem Anteil an Licht- und Waldweide abhängt. Somit ist anzunehmen, dass das Arbeitszeiteinsparpotenzial durch ein Trackingsystem ebenfalls von diesen Faktoren abhängt.

6 Schlussfolgerungen

Das eingesetzte Trackingsystem der Firma Telespor ist grundsätzlich für den Einsatz auf Almen geeignet. Ferner kann es zur Reduzierung des Arbeitszeitaufwands und der Arbeitsbelastung sowie zu einer Optimierung der Weideführung auf Almen einen entscheidenden Beitrag leisten. Damit das System in der breiten Praxis eingesetzt werden kann, sind jedoch noch technische Weiterentwicklungen sowie Verbesserungen im Bereich der Bedienerfreundlichkeit und der Anwendersoftware notwendig. So sollte der Energieverbrauch gesenkt werden, damit ein Batteriensatz bei einer höheren Datendichte von z.B. 10 Datensätzen pro Stunde für mindestens eine Saison hält. Weiterhin sollte die Möglichkeit der bidirektionalen Kommunikation implementiert werden, damit aktiv eine Positionsdatenabfrage von Seiten des Hirten möglich ist. Zur weiteren Vereinfachung der Tiersuche sollte ein Navigationssystem z.B. auf einem Mobiltelefon zum Einsatz kommen, das dem Hirten seine Position und die Positionen der Tiere anzeigt. Schließlich sollte dem Hirten eine entsprechende Auswertungssoftware zur Verfügung stehen, damit er durch geeignete und verdichtete Informationen, z.B. zu den täglich abgegrasteten Flächen oder zu über- bzw. unterbeweideten Flächen oder auch zu einer möglichen Brunst eines der Tiere, sein Weide- und Herdenmanagement anpassen und optimieren kann.

Literatur

- Auernhammer, H.; Braunreiter, C. (2008): Telemetrische Erfassung von Standort- und Verhaltensdaten extensiv gehaltener Viehherden und deren Analyse zur Abschätzung des Potentials für ein nachhaltiges Landschaftsmanagement. Abschlussbericht zum Versuchsvorhaben, gefördert unter dem AZ 23781-34 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
- Eurostat (Hrsg.) (2011): Viehhaltung: Anzahl der Tiere nach landwirtschaftlicher Fläche und Gebietsstatus (ef_ov_Issum): Benachteiligte Berggebiete. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/database> Zugriff am 15.04.2011
- Gfeller, Peter; (2010): Bleibt die Milchproduktion im Berggebiet? Ausstieg Milchkontingent Schweiz – was kann Österreich daraus lernen? ART-Schriftenreihe 12/Mai 2010. Landtechnik im Alpenraum, Tagung vom 5./6. Mai 2010, Feldkirch, Österreich, 5-8
- Handler, F.; Kriegler, M.; Blumauer E.; Gremmel H. (1999): Arbeitszeitbedarf auf Almen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Landtechnik Wieselburg, Heft 44

- Neumaier, G. (2010): Ökonomische und produktionstechnische Aspekte der Almwirtschaft – dargestellt am Beispiel einer Alm in Tirol. Masterarbeit, Technische Universität München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues, Weihenstephan
- Trotter, M.G.; Lamb, D.W.; Hinch, G.N.; Guppy, C.N. (2010): Global navigation satellite system livestock tracking: system development and data interpretation. *Animal Production Science*, 50(6), 616–623

Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Ortungssystems zur Verbesserung des Herdenmanagements eines Milchviehbetriebes

On-Farm Feasibility Study on Realtime Positioning of Dairy Cows to Facilitate Herdmanagement

HEIKO GEORG¹, TOBIAS ROSE², URBAN HELLMUTH²

¹ Institut für Ökologischen Landbau, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI). Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Trenthorst 32, 23847 Westerau

² Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft Osterrönfeld, Am Kamp 11, 24783 Osterrönfeld

Schlüsselwörter: Ortung, Milchkühe, Herdenmanagement

Keywords: *positioningsystem, dairy cows, herd management*

Zusammenfassung

Ziel dieses Vorversuches, der im Rahmen eines Praxisprojektes durchgeführt wurde, war die Überprüfung der Praxistauglichkeit des Real Time Location Systems (RTLS) Ubisense 7000 für das Herdenmanagement. Neben der Überprüfung der Genauigkeit der mit dem Ortungssystem erhobenen Daten, wurden Daten zur Aktivitätsmessung, Brunsterkennung, Aufenthaltsdauer in den Funktionsbereichen sowie Laufverhalten mithilfe von Pedometern und Videobeobachtung erfasst.

Die vom Hersteller angegebene Genauigkeit von 30 cm konnte an 8 von 9 Kalibrierpunkten in der X- und Y-Ebene eingehalten werden.

Summary

The aim of this preliminary study that was carried out as part of a practical project was to test the workability of the Real Time Location Systems (RTLS) Ubisense 7000 for the herd management. In addition to checking the accuracy of the positioning system data were collected on the activity measurement, heat detection, duration of stay recorded in the functional areas and walking behaviour by means of pedometers and video surveillance.

The manufacturer's specified accuracy of 30 cm could be achieved in 8 of 9 calibration points in the X and Y plane.

1 Stand des Wissens

Ortungssysteme werden seit einigen Jahren vermehrt zur Erfassung und Lokalisation von Rindern erfasst. Motivation für den Einsatz von Positionierungssystemen in Rinderställen ist die Arbeitserleichterung bei der Erfassung von Verhaltensdaten und – mit Blick in die Zukunft – die Automatisierung von Verhaltensbeobachtungen zur Unterstützung des Herdenmanagements, wie z.B. der Brunstbeobachtung. Da sich GPS-basierte Systeme in Stallgebäuden durch die Abschattung der Satellitensignale nicht für eine genaue Positionierung eignen, wird bei Positionierungssystemen zumeist eine eigene Infrastruktur mit Sensoren und Identifikationseinheiten aufgebaut. Hierbei kommen verschiedene Ortungsprinzipien zum Einsatz: das Triangulationsprinzip, die Signallaufzeiterfassung oder Kombinationen von beiden.

Methoden zur lokalen Positionsbestimmung in Echtzeit werden allgemein unter dem Begriff Real Time Location Systems (RTLS) zusammengefasst. ROTH (2005) weist darauf hin, dass in der Regel hochpräzise Systeme auf kleinere Areale beschränkt sind und eine höhere Genauigkeit auch höheren Aufwand sowie höhere Kosten nach sich ziehen. Doch die Anforderungen an ein Positionierungssystem variieren mit dem Anwendungszweck. Als praxistaugliche Systeme für die Tierhaltung gelten Entwicklungen der Firmen Abatec und Ubisense. Bei beiden geschieht die Positionsbestimmung über die Erfassung von Signallaufzeitunterschieden zwischen den mobilen und den festinstallierten Stationen, bei Ubisense Series 7000 zusätzlich über Messungen des Einfallswinkels des Transpondersignals (BEYER et al., 2009).

Mithilfe des Systems Cowdetect, das auf Ubisense Komponenten basiert, können Bewegungsaktivität und die aktuelle Position aller bzw. eines beliebigen Tieres in Echtzeit in Praxisbetrieben (n=6) in Dänemark angezeigt werden. Wenn z.B. ein Tier unter besonderer Beobachtung steht oder sich auffällig zeigt und im Computer entsprechend farblich markiert wurde, kann es zügig ausfindig gemacht und betrachtet werden. So kann häufiger auf eine Separation verzichtet werden (SØGAARD, 2010). Dies kommt den Herdentieren in ihrem Verhalten entgegen. Vor allem Betriebe mit größeren Beständen bekunden nach SØGAARD (2010) reges Interesse an diesem Ortungssystem.

2 Material und Methoden

Der Versuch wurde auf einem Milchviehbetrieb in Schleswig-Holstein durchgeführt. In einem Boxenlaufstall waren während des Versuches 104 laktierende Kühe aufgestellt. Den Tieren standen 82 Fress- und 98 Liegeplätze zur Verfügung. Die Fütterung erfolgte als Mischration, ergänzt durch zwei Kraftfutterabrufstationen. Gemolken wurden die Tiere zweimal täglich im Melkkarussell.

Die verwendete Technik bestand aus dem Ortungssystem Ubisense mit 15 Sensoren (Series 7000) und 80 Compact Tags (Series 7000, aktive Transponder), 30 ALT-Pedometern (IB Holz) und auf dem Betrieb vorhandenen Aktivitäts-Transpondern der Firma Westfalia. Zusätzlich wurde ein Videosystem mit zehn Kameras (Panasonic WV-BP 102) und zwei digitalen Videorekordern (EverFocus, EDR-810) installiert.

Der Versuchszeitraum nach der Installation der Technik betrug vier Wochen vom 20.11. bis 22.12.2010. In diesem Zeitraum wurden 77 Kühe kontinuierlich über das Ortungssystem positioniert. 30 dieser Kühe waren zusätzlich mit Pedometern ausgestattet. Alle Tiere waren am Halsband mit den Transpondern von Westfalia zur Aktivitätsmessung ausgestattet. Zusätzlich wurde der komplette Stall mit Video überwacht.

Das zur Verfügung stehende Stallgebäude wurde 2003 im ersten Bauabschnitt fertig gestellt (linke Hälfte Abbildung 1) und 2009 durch einen Anbau ergänzt (rechte Hälfte Abbildung 1). Beide Gebäudeteile wurden als Offenfrontställe mit außenliegenden Futtertischen ausgeführt und an den Traufseiten durch einen Übergang miteinander verbunden (Abb. 2). Die Traufhöhe beträgt etwa 2,5 m.

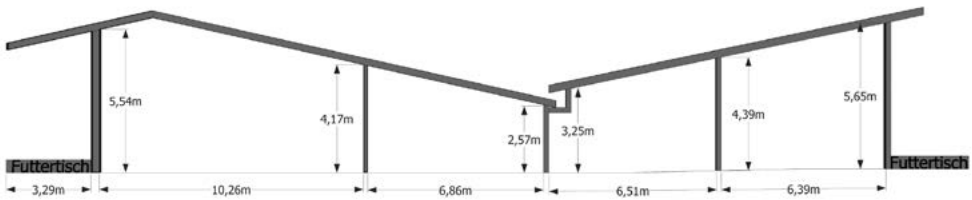


Abb. 1: Schnittzeichnung des Versuchsstalls
 Fig. 1: Cross-section of the experimental dairy barn

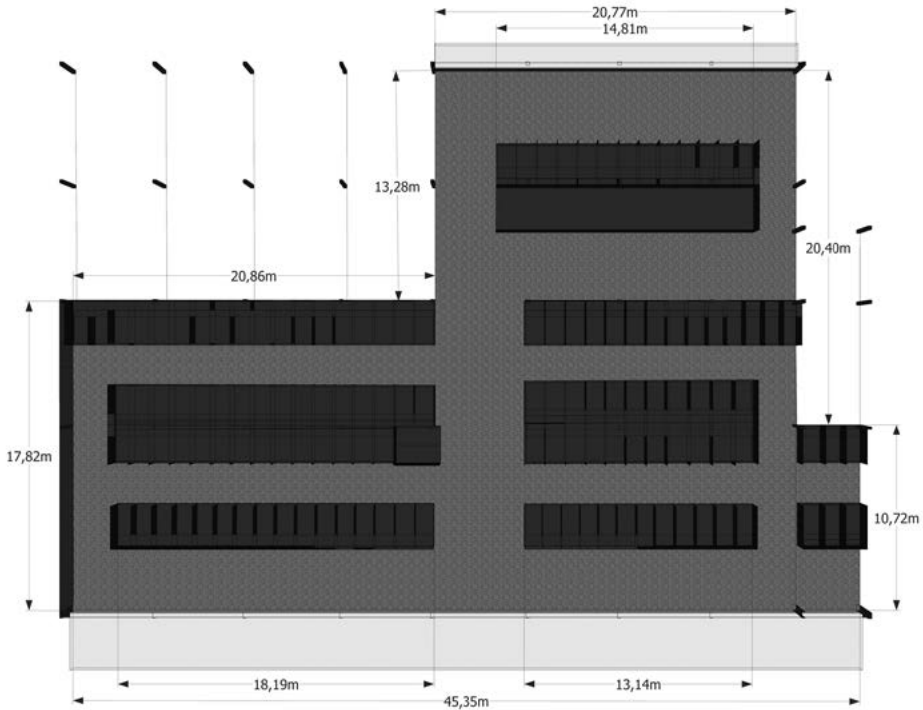


Abb. 2: Grundriss des Versuchsstalls (Erfassungsbereich grau hinterlegt)
 Fig. 2: Layout of experimental dairy barn (Area of measurement in grey colour)

Grundvoraussetzung für den Einsatz des Ortungssystems ist die exakte Anlage eines Koordinatensystems, in welches die möglichst genau bestimmten Positionen der Sensoren eingetragen werden. Mit einem Tachymeter wurden die Lagen und Höhen der Sensoren ermittelt. Die Sensoren wurden in Höhe zwischen 2,5 und 4,5 m installiert. Zur Überprüfung und Kalibrierung des Positionierungssystems wurden verschiedene Kalibrierpunkte im Stall eingemessen (Abb. 3).

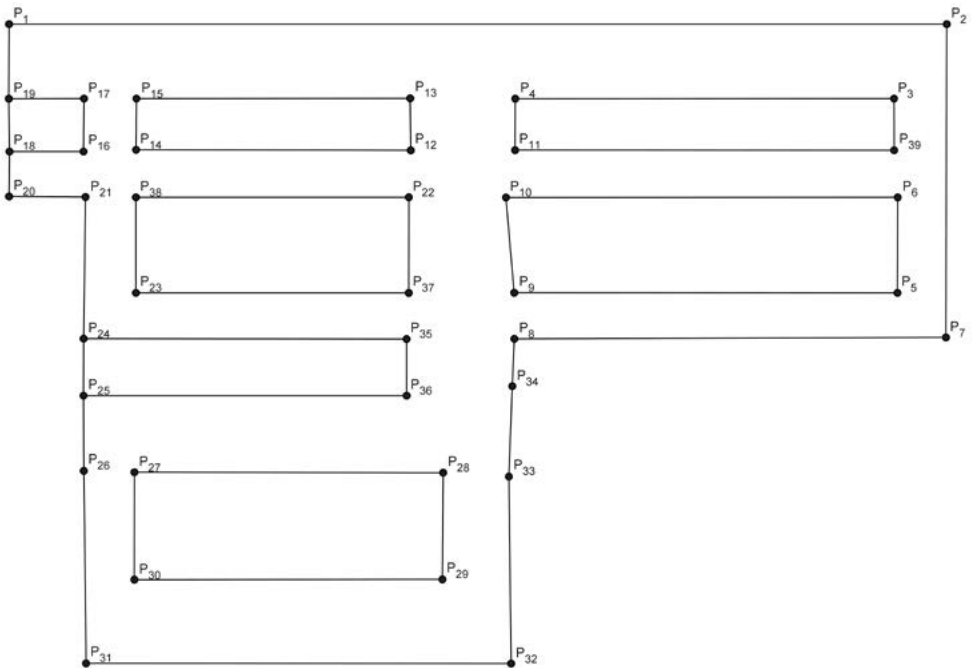


Abb. 3: Eingemessene Kalibrierpunkte im Stallgrundriss (Koordinatensystem)
 Fig. 3: Calibrated reference points within layout

Die Compact Tags zur Positionsbestimmung der Kühe wurden am Halsband der Tiere am Nacken befestigt. Die 15 Sensoren zur Erfassung der Tags wurden im Stall durch Netzkabel verbunden und mit Hilfe eines DHCP-Servers zu einem Sensornetzwerk zusammengefasst. Die Steuerung und Kalibrierung der Sensoren erfolgte über verschiedene Softwaremodule, wobei jeweils ein Sensor in einer der beiden Stallhälften als Master definiert wurde und die Zeitsynchronisation durch Benennung eines Sensors als „Timingsource“ erfolgte.

Die Software des Positionierungssystems ermöglicht die Definition verschiedener Zonen im Koordinatensystem, für die tierindividuell die Eintritts- und Austrittszeiten erfasst werden. Mit Hilfe eigener Auswerterroutinen können daraus die Aufenthaltszeiten berechnet werden. Diese Zonen registrieren die Tiere in x-, y- und z-Richtung, sind also dreidimensional.

3 Ergebnisse

Zunächst wurde die Genauigkeit der Ortung im Kuhstall überprüft. Die vom Hersteller angegebene Genauigkeit von 30 cm konnte an 8 von 9 Kalibrierpunkten in der X- und Y-Ebene eingehalten werden (Abb. 4 und 5).

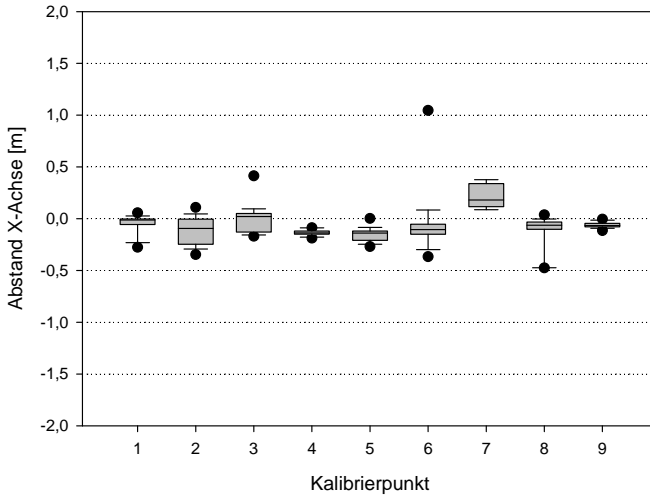


Abb. 4: Boxplot der Abweichungen zwischen gemessener und tatsächlicher Position der Kalibrierpunkte im Stall für X-Achse

Fig. 4: Boxplot of the differences between measured and actual position of the calibration points in the stable for the X-axis

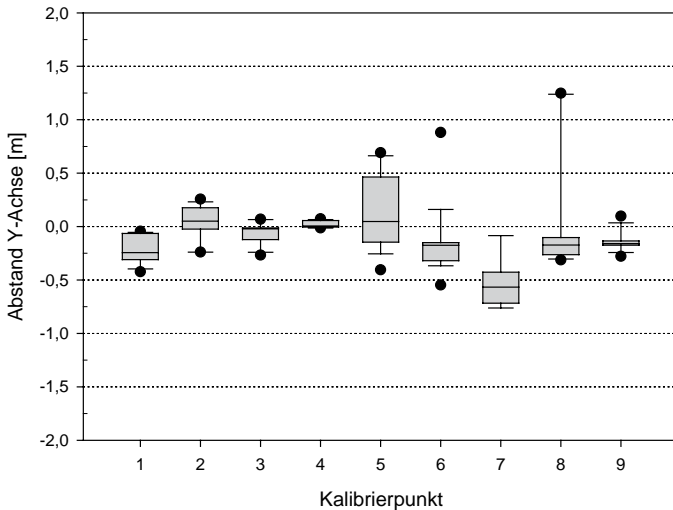


Abb. 5: Boxplot der Abweichungen zwischen gemessener und tatsächlicher Position der Kalibrierpunkte im Stall für Y-Achse

Fig. 5: Boxplot of the differences between measured and actual position of the calibration points in the stable for the Y-axis

Die größten Abweichungen traten an Kalibrierpunkt 7 in der Z-Achse auf (Abb. 6). Der Kalibrierpunkt 7 wurde durch die Installation der Kraftfutterstationen, Stahlstützen sowie einem Wassertank abgedeckt. Kalibrierpunkt 4 weist in x-, y- und z-Richtung die geringsten Abweichungen (Range 10–18 cm) auf. Dieser Punkt konnte über Sensoren in unterschiedlicher Höhe und ohne Behinderung durch Stützen kalibriert werden. Betrachtet man den Abstand zwischen dem 5. und 95. Perzentil, der 90 % der Werte repräsentiert, weisen alle Kalibrierpunkte einen Mittelwert von 0,45 m für die X-, 0,72 m für die Y- und 0,85 m für die Z-Achse auf.

Für eine Anzahl von 5 Tieren konnte im Versuchszeitraum eine erhöhte Aufenthaltszeit in der Zone vor der Bullenbucht während der Brunst mithilfe des Ortungssystems nachgewiesen werden. Das darüber hinaus betrachtete Aufsprungverhalten konnte aufgrund der Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Z-Koordinaten nicht registriert werden. Die Aufenthaltszeiten der Tiere in den unterschiedlichen Funktionsbereichen (Liegebox, Futtertisch, Laufgang, Kraftfutterboxen) konnten hingegen erfasst und durch einen Abgleich mit Video und Pedometerdaten verifiziert werden.

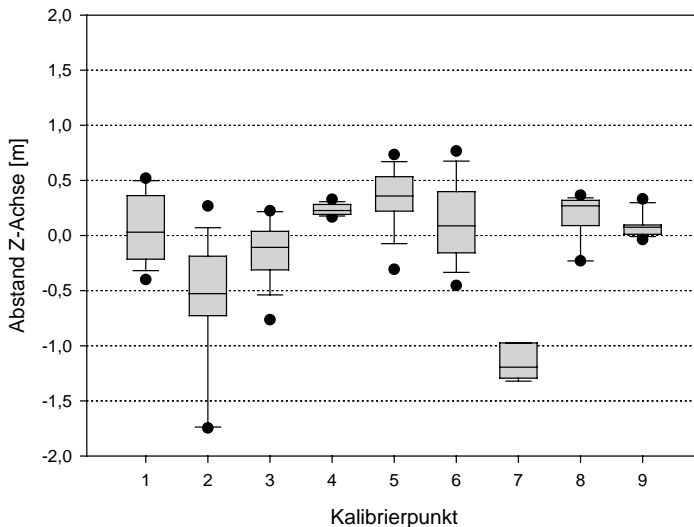


Abb. 6: Boxplot der Abweichungen zwischen gemessener und tatsächlicher Position der Kalibrierpunkte im Stall für Z-Achse

Fig. 6: Boxplot of the differences between measured and actual position of the calibration points in the stable for the Z-axis

4 Fazit

Das Ortungssystem konnte innerhalb von 7 Arbeitstagen auf dem Praxisbetrieb installiert werden. In diesem Zeitraum wurde neben der Installation und Anpassung auch die Kalibrierung des Systems durchgeführt und eine Software zur Erfassung installiert. Die Konstruktion des Stallgebäudes (Geometrie, Stahl- oder Holzkonstruktion) und die

Anbringung der Sensoren beeinflussen die Genauigkeit der Positionsbestimmung stark, insbesondere die Z-Achse. Die Genauigkeit des Systems war für die 2D-Ortung der Tiere und die Zuordnung zu Funktionsbereichen ausreichend, nicht jedoch für weitergehende Auswertungen wie Aufsprungverhalten oder Geschwindigkeitsbestimmung. Dazu bedarf es optimierter Anbringung der Sensoren, die in der Kürze des Versuchszeitraums nicht zu realisieren war. Mit dem gegebenen Aufwand konnten jedoch Teilaufgaben der aufwändigen Videoauswertung wie Aufenthaltszeiten in bestimmten Funktionsbereichen hinreichend genau erledigt werden.

Literatur

- Beyer, S.; Peis, R.; Mačuhová, J.; Haidn, B. (2009): Ortungssysteme in Arbeitswissenschaft und Ethologie - Untersuchungen zur Genauigkeit der Positionsbestimmung in Gebäuden. Tagungsband 9. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2009, Berlin, 21.–23.09.2009, KTBL, Darmstadt, ISBN 978-3-941853-27-6, 196–201
- Roth, J. (2005): Mobile Computing – Grundlagen, Technik, Konzepte. 2. Auflage. dpunkt-Verlag, Heidelberg
- Søgaard, J. (2010): Mündliche Mitteilung während der Betriebsbesichtigungen in Dänemark am 28.10.2010

Automatische Fütterungssysteme zur Optimierung der Milchviehhaltung

Automatic feeding systems for the optimization of dairy farming

ANNE GROTHMANN¹, FRANZ NYDEGGER¹, MATTHIAS SCHICK¹, CARLO BISAGLIA²

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8356 Ettenhausen, Schweiz

² Cra-Ing, Laboratorio di ricerca di Treviglio, 24047 Treviglio, Italien

Schlüsselwörter: Fütterungstechnik, jährliche Kosten, Arbeitszeitbedarf

Keywords: feeding technology, annual costs, working-time requirement

Zusammenfassung

Steigende Arbeitsbelastungen durch immer weiter wachsende Betriebe und Herden zwingen Landwirte, ihre Arbeitsabläufe zu optimieren. Die Fütterung beansprucht auf einem Milchviehbetrieb ca. 25 % des gesamten Arbeitszeitbedarfs (SCHICK, 2006) und erfordert damit, nach dem Melken, den höchsten Arbeitszeitbedarf. Die automatische Fütterung soll laut Herstellerangaben eine deutliche Arbeitsentlastung, eine bessere Futterhygiene und weniger Futterverluste ermöglichen. Beim Arbeitszeitbedarf treten mit 48,2 AKmin/Tag Ersparnis für 120 Tiere deutliche Unterschiede zugunsten des Automatischen Fütterungssystems im Vergleich zum Futtermischwagen auf. Der Arbeitszeitbedarf bei AFS hängt stark von der Entnahmetechnik und den Entfernungen zur Futterlagerung ab. Beim Einsatz eines AFS wird eine Futtertischbreite von nur 2,5 m benötigt. Durch die geringere Bauhülle können bis zu 700 Euro Baukosten pro GVE und jährliche Kosten von 3.600 Euro bei 60 Tieren und 7.200 Euro bei einem Stall für 120 Tiere eingespart werden.

Summary

Increasing workloads owing to ever-expanding farms and herds are obliging farmers to optimise their workflows. On a dairy farm, feeding the animals accounts for about 25 % of the total working-time requirement (SCHICK, 2006) and hence represents the highest working-time requirement after milking. According to manufacturer data, automatic feeding should significantly reduce workload, improve feed hygiene and make for less feed waste. In terms of working-time requirement, with working-time savings of 48.2 Pmin/day for 120 animals, AFS's possess clear advantages over diet. The working-time requirement for AFS's depends largely on the unloading technique used and the distances to the feed warehouse. When an AFS is used, a feed-table width of only 2.5 m is required. Thanks to the smaller building envelope, building costs of up to EUR 700 per livestock unit and annual costs of EUR 3,600 for 60 animals (i.e. EUR 7,200 in the case of a barn for 120 animals) can be saved.

1 Problemstellung

In den letzten rund 30 Jahren hielten Geräte wie Futtermischwagen (FMW), Entnahme-Transport und Verteilgeräte (ETV) und Ballenauflösegeräte zur Futtervorlage Einzug in den Landwirtschaftsbetrieb. Auch das anschließende regelmäßige Futternachschieben kann mit verschiedenen Nachschiebegeräten erfolgen. Für die Kraftfutterzuteilung und das Nachschieben sind bereits vollautomatische Geräte vorhanden, während für das Vorlegen mit den aufgeführten Geräten noch eine Bedienungsperson notwendig ist.

Die automatische Fütterung von aufgewerteten Mischrationen und Totalmischrationen gewinnt zurzeit in der Milchviehhaltung immer mehr an Bedeutung. Die neue Fütterungstechnik ermöglicht es, mithilfe von Futterbändern, schienengeführten oder selbstfahrenden Fütterungsrobotern die Vorzulage von Grundfütterration oder einer Mischration aus Grund- und Kraftfutter vollautomatisch durchzuführen.

In wirtschaftlich unsicheren Zeiten überdenken viele Landwirte ihr Management und versuchen hohe Tierleistungen bei niedrigen Produktionskosten zu erreichen. Doch für eine hohe Leistung muss nicht nur eine optimale Versorgung der Tiere, sondern auch die Tiergerechtigkeit und die Tiergesundheit gewährleistet sein.

Zudem gilt die Fütterung in der Rindviehhaltung bei der täglichen Arbeit mit ca. 25 % des gesamten Arbeitszeitbedarfs als zeitintensives Arbeitsverfahren und verursacht dadurch hohe Kosten. Die automatische Futtervorlage könnte in der täglichen Arbeitserledigung zu wesentlichen Arbeits- und Kosteneinsparungen führen und somit die einzelbetriebliche Produktivität erhöhen.

Trotz des starken Anstiegs der Anzahl an automatischen Fütterungssystemen (AFS) in der Praxis sind keine gesicherten Daten zu den Auswirkungen dieser Anlagen auf die Milchleistung, die Inhaltsstoffe, die Futteraufnahme und den Einfluss auf das Tierverhalten vorhanden.

2 Funktionsweise automatische Fütterungssysteme

Bei der automatischen Fütterung ist besonders das lückenlose Zusammenspiel einzelner Elemente vom Futterlager bis zum Futtertisch wichtig. Aus diesem Grund gibt es bei den AFS verschiedene technische Ansätze. Dazu zählen Futterbänder, selbstfahrende und schienengeführte Futterwagen (Abb. 1).

Eine ausführliche Beschreibung der Systeme findet sich im ART-Bericht 710 (NYDEGGER UND GROTHMANN, 2009).

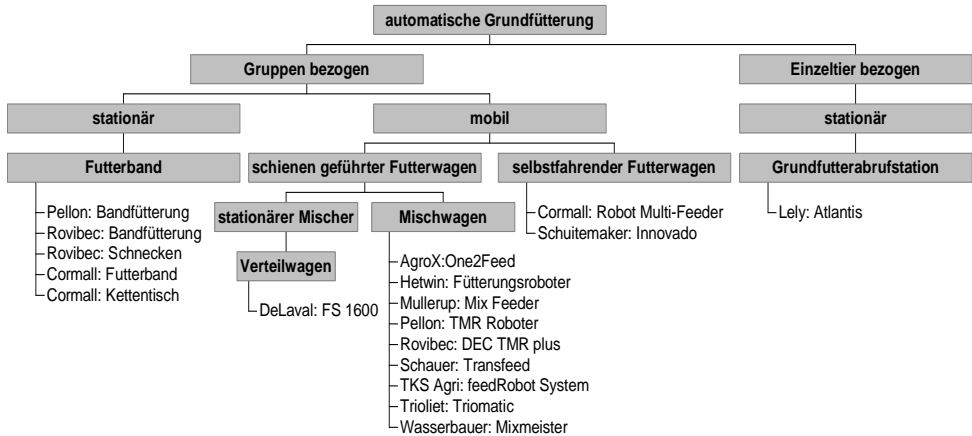


Abb. 1 : Systematik automatischer Fütterungssysteme

Fig. 1: Organisation chart of the automatic feeding systems

3 Methoden

3.1 Arbeitszeiterfassung

Laut Hersteller sollen automatische Fütterungssysteme eine deutliche Arbeitsentlastung, eine bessere Futterhygiene und weniger Futtermittelverluste ermöglichen. Dazu führte ART eine Erhebung auf Betrieben mit automatischer Fütterung sowie Arbeitszeitmessungen durch. Ziel war es, zu zeigen, welche Systeme auf dem Markt vorhanden sind und ob sie die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen.

Die Erfassung der Arbeitszeitdaten fand auf Arbeitselementebene in Form von Messungen bei der direkten Beobachtung der Arbeitsschritte auf vier Betrieben mit schienegeführten AFS in Deutschland statt. Das Arbeitselement wird definiert als kleinster Abschnitt eines Arbeitsablaufs, der mit üblichen Zeitmessgeräten noch exakt gemessen werden kann. Die Abschnitte werden vor der Messung durch einen Anfangs- und Endpunkt festgelegt. Die Zeitmessung erfolgte mittels Pocket-PC und einer Zeiterfassungssoftware (OrtimB3). Die Daten wurden in eine Planzeitdatenbank eingegeben, statistisch ausgewertet und in das Modellkalkulationssystem PROOF integriert (SCHICK, 2006). Es wurden grundlegende Annahmen für ein Modell festgelegt und der Arbeitszeitbedarf für die zwei Betriebsvarianten (60 und 120 Tiere) und der Nutzung von Futtermischwagen oder der Arbeitszeitbedarf berechnet.

Das Modell basierte dabei auf folgenden Annahmen:

- 2 Betriebsvarianten (60 und 120 Tiere)
- Tägliche Silageentnahme und Futtermischreinigung beim FMW und AFS
- Die Herde mit AFS wird in 2 laktierende Gruppen unterteilt, beim FMW findet keine Gruppenbildung statt
- Bei Futtermittelvorlage mit FMW: Futtermittelanschub dreimal am Tag (entfällt beim AFS vollständig)

- Programmierung (Ration): beim AFS 1-mal pro Woche, beim FMW 2-mal pro Jahr
- Ration: beide Verfahren je fünf Grundfutterkomponenten

3.2 Berechnung der jährlichen Kosten

Auf Basis der Arbeitszeitmessungen und der Modellierung der Arbeitszeiten für Betriebe mit Herdengrößen von 60 und 120 Tieren wurden Berechnungen zu den jährlichen Kosten durchgeführt.

Auf Grundlage des Leistungsbedarfes, dem Arbeitszeitbedarf und den Baukosten wurden die jährlichen Kosten für AFS und Futtermischwagen berechnet.

Dabei erfolgten folgende Annahmen:

- Neubau des Stalls
- Nutzungsdauer Stall: 20 Jahre
- Nutzungsdauer Futtertechnik: 12 Jahre
- AFS erstellt bei 60 Tieren 11-mal am Tag eine neue Mischung (Laktierende 6 Fütterungen, Jungvieh 3 Fütterungen, Trockensteher 2 Fütterungen/Tag)
- AFS erstellt bei 120 Tieren 22-mal am Tag eine neue Mischung (2 Gruppen „Laktierend“ je 8 Futtervorlagen/Tag, Jungvieh: 3 Futtervorlagen/Tag, Trockensteher: 3 Futtervorlagen/Tag)
- Tägliche Befüllung der Vorratsbehälter mit Futter beim AFS
- Beim Futtermischwagen wird 1-mal (60 Tiere) bzw. 2-mal (120 Tiere) am Tag Futter entnommen und vorgelegt
- Maschinenbesatz:
 - AFS: Teleskoplader (50 kW) mit Schneidezange, AFS (schienengeführter TMR Roboter, 5 Vorratsbehälter für Grundfutter)
 - FMW: Teleskoplader (50 kW) mit Schneidezange, Traktor (4 Radantrieb, 50 kW), Futterfräs- und Mischwagen mit Waage 12 m³

4 Ergebnisse

4.1 Arbeitszeitmessungen

Die Daten der Arbeitszeitmessungen wurden mit konventioneller Futtermischwagenfütterung verglichen. Hier zeigt sich das Potenzial von Arbeitszeiteinsparung auf Milchviehbetrieben, wenn die optimale Fütterungstechnik eingesetzt wird.

Wie in Tabelle 1 ersichtlich, ergab die Modellierung der Arbeitszeiten, dass Betriebe mit 60 Tieren und AFS 50,6 AKmin und mit 120 Tieren 65,2 AKmin pro Tag für die Fütterung aufwenden. Dies schließt den Arbeitszeitbedarf für Rationsmanagement, tägliche Befüllung der Vorratsbehälter und tägliche Reinigung des Futtertisches ein.

Um die gleiche Herde mit einem Futtermischwagen inklusive Futtervorlage und Futternachschub zu versorgen, müssen für 60 Tiere 65,1 AKmin oder bei 120 Tieren 113,4 AKmin pro Tag kalkuliert werden.

Mit 48,2 AKmin/Tag Arbeitszeiterparnis treten beim Befüllen der Vorratsbehälter bzw. des Futtermischwagens für 120 Tieren deutliche Unterschiede zugunsten des AFS auf. Zusätzlich entfällt der Zeitbedarf für die Futtervorlage beim AFS vollständig (Abb. 2).

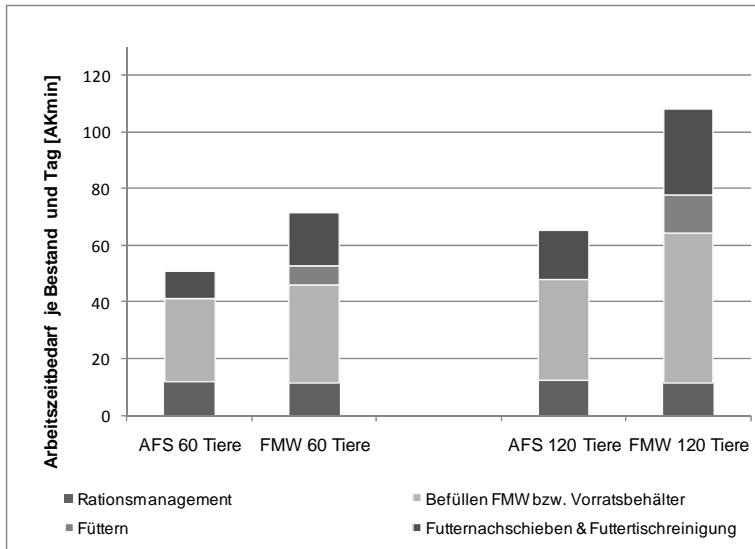


Abb. 2: Vergleich des täglichen Arbeitszeitbedarfs zwischen automatischen Fütterungssystemen (AFS) und Futtermischwagen (FMW)

Fig. 2: Comparison of the daily working-time requirement between automatic feeding systems (AFS) and feeder-mixer-wagon (FMW)

4.2 Jährliche Kosten

Die Ergebnisse zeigen, dass bei 60 Tieren die jährlichen Kosten bei der Nutzung einer automatischen Fütterung deutlich höher sind. Die jährlichen Arbeits- und Maschinenkosten bei der Fütterung mit AFS belaufen sich bei einer Herde mit 60 Tieren auf 30.774 Euro und auf 25.400 Euro, wenn die Tiere mit dem Futtermischwagen versorgt werden (Tab. 1).

Tab. 1. Vergleich der jährlichen Kosten¹⁾ bei automatischer Fütterung (AFS) und Futtermischwagen (FMW)

Tab. 1: Comparison of the annual costs between automatic feeding systems (AFS) and feeder-mixer-wagon (FMW)

	FMW 60 Tiere	AFS 60 Tiere	FMW 120 Tiere	AFS 120 Tiere
Minderkosten Stallgebäude Euro/Jahr	-	3.600	-	7.200
Tot. Arbeits- und Maschinenkosten Euro/Tag	69,59	84,31	101,75	85,34
Tot. Arbeits- und Maschinenkosten Euro/Jahr	25.400	30.774	37.138	31.149

¹⁾ Wechselkurs Euro zu Schweizer Franken: 1:1,40

Die Kostensteigerung bei einer Verdopplung der Herdengröße ist bei AFS im Vergleich zum Futtermischwagen aber sehr gering. Die jährlichen Arbeits- und Maschinenkosten für die Versorgung von 120 Tieren fallen bei AFS mit 31.149 Euro deutlich geringer aus als beim FMW mit 37.138 Euro.

Ein entscheidender Faktor bei den jährlichen Kosten sind die Minderkosten beim Stallgebäude. Bei der Nutzung eines AFS wird eine Futtertischbreite von nur 2,5 m benötigt (Abb. 3). Allein durch die geringere Bauhülle können bis zu 700 Euro Baukosten pro GVE sowie 3.600 Euro bei 60 Tieren und 7.200 Euro bei einem Stall für 120 Tiere eingespart werden.

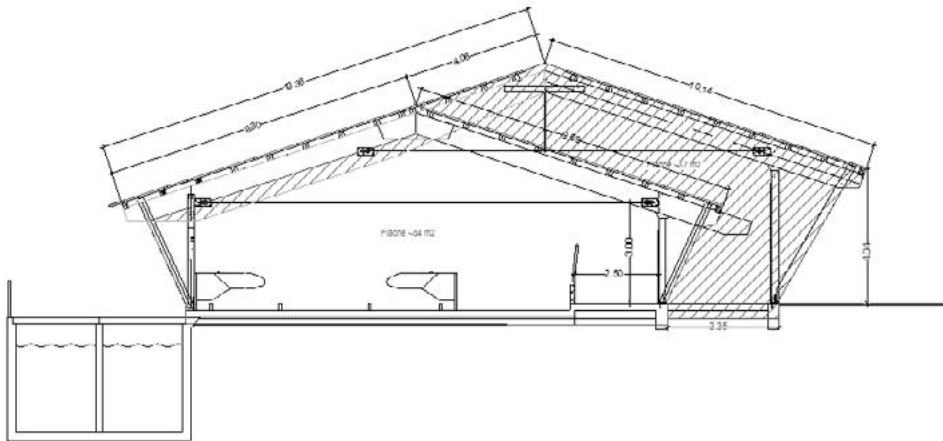


Abb. 3: Vergleich Ausmaß der Bauhülle bei Futterdurchfahrt mit FMW und AFS
 Fig. 3: Comparison of building envelope between AFS and FMW

5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse einer Erhebung zum Stand der Technik zeigen, dass automatische Fütterungssysteme nicht nur auf Betrieben mit großer Bestandsgröße und hoher Milchleistung genutzt werden. Zwar ist die Verbreitung der automatischen Fütterung zum großen Teil noch auf Skandinavien, Dänemark und die Niederlande konzentriert, doch steigt das Interesse auch in anderen Ländern deutlich an. Die Landwirte gaben an, eine erhöhte Arbeitsflexibilität und eine deutliche Arbeitserleichterung durch das automatische Fütterungssystem zu erreichen. Bedienung und Zuverlässigkeit wurden von den meisten Landwirten sehr positiv bewertet. Zusätzlich gaben die Landwirte an, dass im Stall ein geringeres Problem mit Rangkämpfen zwischen den Tieren besteht und insgesamt weniger Futterverluste auftreten.

Es erfolgen auf den Betrieben zwischen ein und 13 Futtervorlagen am Tag mit bis zu zehn verschiedenen Futterkomponenten (NYDEGGER UND GROTHMANN, 2009).

Die Nutzung von automatischen Fütterungssystemen kann Arbeitszeit einsparen und die Flexibilität steigern. Eine deutliche Einsparung der Arbeitszeit ist aber, im Vergleich zu konventionellen Futtermischwagen, nur bei größeren Herden zu erwarten. Es zeigte sich, dass eine klare Reduktion der Arbeitszeit mit Herden von 60 Tieren nicht möglich ist, sich die Flexibilität des Betriebsleiters aber signifikant vergrößert.

Dies stützt entsprechende Aussagen der Landwirte in der vorher durchgeführten Erhebung (NYDEGGER UND GROTHMANN, 2009).

In einem simulierten Vergleich der Arbeitszeiten zwischen AFS und FMW kommen BISAGLIA et al. (2008) auf ein ähnliches Ergebnis. Grundlage der Berechnung ist eine Herde mit 120 Milchkühen in zwei Leistungsgruppen und 10 Futtervorlagen pro Tag und Gruppe und 3 Futtervorlagen pro Tag für eine Tiergruppe mit 35 Färsen. Bei ihrer Kosten-Nutzen-Analyse liegt die tägliche Arbeitszeiteinsparung mit AFS bei 100 Minuten pro Tag.

Grundsätzlich ist ein AFS eine gute Möglichkeit den Arbeitszeitbedarf und die körperliche Arbeitsbelastung in der Milchviehhaltung zu optimieren. Mit Hinblick auf die relativ hohen Investitionskosten für AFS (ca. 80.000–170.000 €), muss die Wirtschaftlichkeit für jeden Betrieb individuell ermittelt werden. Die Berechnung der jährlichen Arbeits- und Maschinenkosten zeigen, dass bei einer Herdengröße von 60 Tieren die Kosten für eine automatische Fütterung deutlich über denen der Futtermischwagen liegen. Bei einer Verdoppelung der Tierzahl steigen die jährlichen Kosten bei AFS eindeutig geringer. Dadurch entsteht für das AFS ein Kostenvorteil gegenüber der Futtervorlage mit Futtermischwagen.

Des Weiteren sollten möglichst alle Fütterungsgruppen inklusive Trockensteher und Jungtiere mit dem AFS gefüttert werden können. Die Vorratsbehälter für die verschiedenen Futterkomponenten, insbesondere Raufutter, machen einen wesentlichen Anteil der Investition aus. Die Anzahl an eingesetzten Grundfutterkomponenten beeinflusst die Investitionskosten daher erheblich.

6 Ausblick

Der Einfluss einer erhöhten Fütterungsfrequenz auf die Leistung, die Milchinhaltsstoffe und das Verhalten ist, besonders im Zusammenhang mit dem automatischen Fütterungssystem, noch nicht endgültig geklärt. Trotz des starken Anstiegs der Anzahl an automatischen Fütterungssystemen in der Praxis sind kaum gesicherte Daten zu den Auswirkungen dieser Anlagen vorhanden.

Aus diesem Grund wird an der Forschungsanstalt ART in Tänikon zur Zeit ein Projekt zur Untersuchung der Einflüsse von AFS auf das Tier und den Mensch durchgeführt. Dafür werden Daten zur Futtermittelaufnahme, Milchleistung, zum Verhalten bei der Futtermittelaufnahme, zur Fress- und Wiederkauaktivität und zum Aktivitäts- und Ruheverhalten bei verschiedenen Fütterungshäufigkeiten erhoben. Zusätzlich finden Untersuchungen zum Bereich der Futterhygiene statt. Die Untersuchungen finden auf dem ART-Forschungsbetrieb und auf ausgesuchten Praxisbetrieben statt.

Ziel ist, die Einflüsse der automatischen Fütterungssysteme auf das Tier und den Landwirt zu quantifizieren und dabei Werte für den tiergerechten und wirtschaftlichen Betrieb der Systeme zu definieren.

Literatur

- Bisaglia C. et al. (2008): A simulated comparison between investment and labour requirements for a conventional mixer feeder wagon and an automated total mixed ration system; CRA-Unità di ricerca per l'ingegneria agraria, Treviglio
- Gazzarin, C.; Albisser Vögeli, G. (2010): Maschinenkosten 2010. Mit Kostenansätzen für Gebäudeteile und mechanische Einrichtungen. ART-Bericht 733, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen
- Nydegger F. und Grothmann, A. (2009): Automatische Fütterungssysteme – Erhebung zum Stand der Technik. ART-Bericht 710, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen
- Schick, M. (2006): Dynamische Modellierung landwirtschaftlicher Arbeit unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsplanung. Habilitationsschrift. Universität Hohenheim

Der Einfluss unterschiedlicher Lauf- und Liegeflächen auf die Klauengesundheit bei Sauen in Gruppenhaltung

Influence of different activity and lying areas on the health of sows kept in groups

RUDOLF WIEDMANN

Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg – Schweinehaltung, Schweinezucht – (Landesanstalt für Schweinezucht – LSZ), Seehöfer Straße 50, 97944 Boxberg-Windischbuch

Schlüsselwörter: Klauengesundheit, Schweineklauen, Warteställe, Tierverhalten

Keywords: health of claws, claws of pigs, injuries of claws, pregnant houses, animal behaviour

Zusammenfassung

Remontierungsraten von teilweise bis zu 50 % und Saudentotalverluste von durchschnittlich 7% lassen vermuten, dass Fütterungs-, Haltungs- und Managementbedingungen in einer Vielzahl von Betrieben suboptimal sind. Dies zeigen auch 5 bis 10 % gruppenuntaugliche Sauen, die aus verschiedenen Gründen aus der Gruppe genommen werden müssen. Die Ursachen beruhen zu einem großen Teil darauf, dass das Verhalten der Sauen bei der Planung von Warteställen zu wenig berücksichtigt wird. Ohne eine stabile Rangordnung, ungestörte Fütterung, genügend Sättigungsfutter und entsprechenden Liegekomfort können die offensichtlichen Probleme nicht gelöst werden.

Summary

In actual sow units replacement rates of 50 % and sow losses of 7 % are common figures. Therefore you can suppose that feeding-, husbandry-, and management conditions are suboptimal in a multitude of sow farms. Furthermore 5 to 10 % of sows are to be removed of the sow group on cause of troubles, injuries and so on. There are lot of reasons for this situation. Mainly it's a too little consideration of all aspects of animal behaviour by planning of housing facilities. Thus the ranking order in sow groups is often not stable enough, sows are disturbed during feeding, they are hungry all over day and they cannot lie on suitable areas. To get good feet and claws of sows at first you've to find solutions for a better consideration of animal behaviour. That is the best prevention.

1 Einleitung und Probleme

Die Remontierungsrate in den Ferkelerzeugerbetrieben hat in den letzten Jahren ständig zugenommen und liegt in manchen Betrieben bei über 50%. Auch die Sauentotalverluste sind mit ca. 7% relativ hoch. Ein beachtlicher Teil der vorzeitigen Sauenabgänge beruht auf Klauenerkrankungen. Diese können auf infektiösen, fütterungsbedingten, erblichen und/oder haltungsbedingten Ursachen beruhen, weshalb es meist keine einfache und schnelle Lösung gibt.

Generell verhalten sich Tiere nach dem Schadenvermeidungsprinzip, d.h. sie sind bestrebt, Schäden einschließlich Klauenverletzungen zu vermeiden. Offensichtlich sind die Ställe so gestaltet, dass die Sauen mit ihrem genetisch und durch Erfahrung erworbenem Verhaltensrepertoire überfordert sind und Verletzungen nicht vermeiden können. Zu einem höheren Risiko für die Klauengesundheit können insbesondere folgende Probleme beitragen:

- Instabile soziale Rangordnung
- Stressige Fütterung
- Permanenter Beschäftigungsmangel
- Mangelnder Liegekomfort, insbesondere auf Betonspaltenböden
- Faktor Mensch

1.1 Instabile soziale Rangordnung

Bei unvermeidlichen Neu- oder Umgruppierungen finden meist Kämpfe statt, die zu gravierenden Klauenverletzungen führen können. Rangauseinandersetzungen sind deshalb in speziell dafür vorgesehene Stallbereiche zu verlegen, zum Beispiel in eine Arena. Ein solcher Stallbereich hat eine Mindestseitenlänge von 15 m, im Mittel stehen jeder Sau ca. 5 m² zur Verfügung, der Boden ist planbefestigt und reichlich eingestreut. Bereits nach etwa 24 Stunden hat sich die Rangfolge weitgehend eingestellt. Durch die Rangkämpfe treten im Wesentlichen Hautverletzungen auf, dagegen sind Klauenverletzungen und Afterklauenabbrisse so gut wie ausgeschlossen.

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse von drei Klauenbonitur-Terminen dargestellt: Vor Einstallen und nach Einstallen in den Wartestall bzw. bei Verwendung einer Arena und auch noch nach Ausstallung aus der Arena. Es zeigt sich deutlich, dass ohne die Einbeziehung einer Arena die Boniturnote bei Boniturtermin B im Vergleich zu Boniturtermin A deutlich zunimmt. Im Gegenzug dazu nimmt sie ab, wenn die Sauen über eine Arena in die Wechselgruppe kommen.

Tab. 1: Ergebnisse der Klauenbonitur bei Eingliederung der gescaunten Sauen in die Wechselgruppe ohne oder über eine Arena (A = vor der Gruppierung, B = nach der Gruppierung, C = nach der Arena)

	Boniturtermin	ohne Arena		mit Arena		
		%	Unterschied Bonitur A zu B	%	Unterschied Bonitur A zu B	Unterschied Bonitur B zu C
Aferklauenabriss	A	3,5	0,1	2,8	-2,8	0,0
	B	3,6		0,0		
	C			0,0		
Verletzung an Afterklaue	A	3,5	14,4	19,4	-16,8	1,9
	B	17,9		2,6		
	C			4,6		
Wandhomabschürfung	A	27,6	15,3	33,3	-30,7	20,1
	B	42,9		2,6		
	C			22,7		
leichter Riss im Wandhorn	A	10,3	14,7	5,6	2,3	5,8
	B	25,0		7,9		
	C			13,6		
mittelstarker Riss im Wandhorn	A	6,9	14,5	2,8	5,1	-3,3
	B	21,4		7,9		
	C			4,6		
starker Riss im Wandhorn	A	3,5	0,1	0,0	0,0	0,0
	B	3,6		0,0		
	C			0,0		
Verletzung über Klaue	A	3,5	7,3	0,0	0,0	0,0
	B	10,7		0,0		
	C			0,0		
starke Verletzung über der Klaue	A	3,5	0,1	0,0	2,6	-2,6
	B	3,6		2,6		
	C			0,0		

1.2 Stressige Fütterung

Die Mehrzahl der eingesetzten Fütterungssysteme fördert eher Rangauseinandersetzungen als dass sie diese möglichst unterbinden. Fütterungssysteme müssen aus der Sicht von Klauenverletzungen drei Voraussetzungen erfüllen: Sie müssen eine individuelle, ungestörte und gleichzeitige Futteraufnahme ermöglichen. Nur so können fütterungsbedingte Rankämpfe mit abrupten Ausweichmanövern und Drehungen auf Spaltenbodenkanten und Afterklauenabriss minimiert werden. Fütterungsverfahren dürfen nicht zum Schnelfressen verleiten, wie das bei Flüssigfütterungen der Fall ist. In abgesperrten Fressständen können Sauen relativ stressfrei Kraftfutter und Rauhfutter trotz sehr unterschiedlicher Fressgeschwindigkeiten aufnehmen.

1.3 Permanenter Beschäftigungsmangel

In engem Zusammenhang mit der Fütterung steht die Beschäftigung der Sauen. Bei ständigem Hunger kann im Stall keine Ruhe entstehen. Häufige Folge sind Klauen- und Vulvaverletzungen. Schließlich sind nur satte Sauen in der Regel auch friedliche Sauen. Beschäftigungsmangel ist ein erheblicher Stressfaktor, der häufig zu Leerkauen führt (Abb. 1).



Abb. 1: Leerkauen ist ein Hinweis für Defizite vielerlei Art

Bei dieser Verhaltensstörung liegen die Sauen apathisch auf dem Bauch, die Augen halb geschlossen, Schaum tritt aus dem Maul hervor, der Unterkiefer bewegt sich hin und her, nicht selten kommt es zu Zähneknirschen. Leerkauen ist ein sicherer Hinweis auf Stress, der allerdings sehr viele Ursachen haben kann. Folgende Auslöser kommen in Frage: Dauernder Hunger, Rohfasermangel, Schmerzen jeglicher Art, oft zum Beispiel von Klauen, Angst vor Buchtengenossinnen, zu niedrige Stalltemperaturen, zu kalte und oder nasse Liegeflächen usw. Beim Leerkauen erzeugen Schweine körpereigene Stoffe,

sogenannte Endomorphine, mit der Funktion, heftige Schmerz Wahrnehmungen im Gehirn abzufiltern. Der Schmerz wird zwar noch lokalisiert, aber nicht mehr so schmerzhaft bzw. unangenehm wahrgenommen. Probleme für leerkauende Schweine ergeben sich dadurch, dass solche Tiere weniger zu entspannten Tiefschlafphasen kommen, sondern nur noch vor sich hindösen. Da dies hauptsächlich in Bauchlage erfolgt hat dies besonders negative Folgen für die Bein- und Klauengesundheit.

1.4 Mangelnder Liegekomfort, insbesondere auf Betonspaltenböden

Die Beschäftigung und damit verbundene Sättigung der Sauen steht in engem Zusammenhang mit dem Liegeverhalten. Da Sauen nur in entspannter Halb- oder Ganzseitenlage tief schlafen und sich erholen können, werden an die Bodengestaltung und -temperatur hohe Anforderungen gestellt. Die Hauttemperatur der Sauen ist ziemlich konstant bei 28 °C, weshalb der Stallboden dem Rechnung tragen muss. Dies erreicht man in unseren Breitengraden nicht ohne Wärmedämmung. Das Liegen auf Spaltenböden ist nur für relativ kurze hochsommerliche Abschnitte eine Alternative. Die entspannte Seitenlage ist Voraussetzung dafür, dass es nicht – wie in der Bauchlage – zum Abschleif des Klauenwandhorns kommt. Da die Hinterbeine in Bauchlage weder in der gebeugten noch gestreckten Lage entspannt sind, werden sie täglich mehrere hundert Male über den Stallboden gezogen (Abb. 2). Der Tragrand scheuert ab und abgeschliffene Trägeränder führen zu Rissen im Wandhorn (Abb. 3 und 4). Jeder weiß, wie schmerzhaft eingerissene Finger- oder Zehennägel sind. Es ist zu vermuten, dass Schweine ähnlich empfinden. Zusätzlich führt das Liegen in Bauchlage häufig zu schmerzhaften Gelenkauftreibungen bzw. Schleimbeuteln. Aus diesen Gründen kann für Sauen, die auch noch im 6. und 8. Wurf bei geringem Betreuungsaufwand und niedrigen Produktionskosten hohe Leis-



Abb. 2: In Bauchlage wird das Hinterbein meist über den Stallboden gezogen. Das Wandhorn scheuert durch



Abb. 3: Infolge Wandabschürfung entstand dieser vertikale Klauenriss



Abb. 4: Starke Abnutzung des Klauenwandhornes

tungen erbringen sollen, auf einen leicht eingestreuten Liegebereich kaum verzichtet werden. Gummimatten im Liegebereich bieten einen wesentlich höheren Liegekomfort als Betonspaltenflächen (Abb. 5).



Abb. 5: Gummimatten steigern den Liegekomfort im Vergleich zu Betonspaltenböden

Trotz intensiver Bemühungen ist es bisher nicht gelungen, einen Betonspaltenboden anzubieten, der trittsicher und rutschfest ist und nur selten zu Klauenverletzungen führt (Abb. 6 bis 9).



Abb. 6: Ballenhorndefekte entstehen vor allem auf Betonspaltenböden



Abb. 7: Sau grätscht aus. Spaltenböden dürfen nicht zu rau aber auch nicht zu glatt sein. Ein schwieriger Spagat!



Abb. 8: Auf Spaltenböden ist immer mit Afterklauenabrissen zu rechnen



Abb. 9: Mit 2 bis 3 Verbänden heilen Afterklauenabrissse nach 3 Wochen ab

Bereits leichte Drehungen auf den Spaltenkanten haben Quetschungen, Blutergüsse und Schnittwunden zur Folge. Das Ballengewebe entwickelt durch diese Verletzungen hartes Horn, die sogenannten Ballenwucherungen. Da diese „wie ein Stein im Schuh sind“, ist es einleuchtend, dass sich solche Sauen zu wenig bewegen. Welche wichtige Funktion der Ballen hat, versteht man am einfachsten durch den Vergleich von Wildschwein- mit Hausschweinklauen (Abb. 10 und 11). Zusätzlich verursachen harte Böden das Auftreten von Gelenkauftreibungen oder Schleimbeuteln, die sehr schmerzhaft sind und ebenfalls zu steifen, verletzungsanfälligen Bewegungsabläufen führen (Abb. 12).



Abb. 10: Wildschweineklauen mit ca. 2 mm überstehendem Tragrand. Sehr guter Übergang vom Ballen- zum Sohlenbereich



Abb. 11: Gleichmäßig abgelaufene Stallklauen. Der Übergang vom Ballen- zum Sohlenbereich ist gleitend



Abb. 12: Schleimbeutel kommen durch Liegen auf zu harten Böden zustande

Abbildung 13 vergleicht die Fundamentbonituren bei Wartesaunen an der LSZ Boxberg mit oder ohne Einstreu im Liegebereich. Die Klauengesundheit ist mit Einstreu in allen Boniturmerkmalen wesentlich höher als ohne Einstreu.

1.5 Faktor Mensch

Der Einfluss des Menschen auf das Wohlbefinden und auch die Klauengesundheit der Sauen wird immer noch unterschätzt. Durch den engen Kontakt zwischen Mensch und Tier beim Umstallen, beim Besamen, bei der Brunstkontrolle, medizinischer Behandlung usw. kann es bei den Sauen zu Stress, Angst und Ablehnungsreaktionen kommen. Diese Aversionen haben häufig schnelle, unkontrollierte Bewegungen mit hohem Verletzungs-potenzial bei den Außenklauen der Hinterbeine zur Folge. Wichtig ist deshalb ein ruhiger, vorausschauender Umgang mit den Sauen.

Vergleich zweier Wartesysteme im Hinblick auf die Klauengesundheit

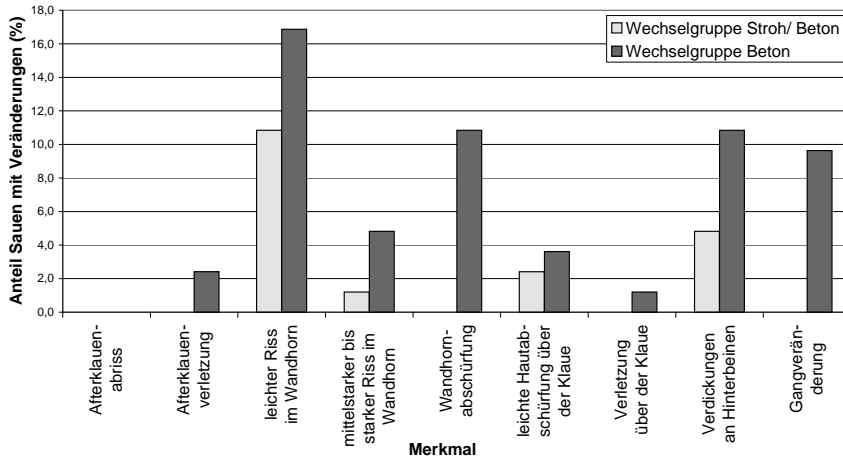


Abb. 13: Vergleich der Klauengesundheit mit oder ohne Angebot von Stroh im Liegebereich (B. Hahn, LSZ Boxberg, 2009)

2 Schlüssel zum Erfolg: Vorbeuge

Die Beanspruchungen der Sauen sind in der Säugezeit sehr groß: Große Würfe verlangen in der Fütterung hohe Stoffumsätze, wobei die Einzelhaltung im Kastenstand wenig Komfort bietet in bezug auf tägliche Bewegung sowie Trennung von Kot-, Fress- und Liegebereich. Darüber hinaus stehen die hohen Temperaturen für die Ferkel dem der Sauen sehr entgegen. Langlebige Sauen, die komplikationslos 6 bis 8 Würfe bringen, brauchen deshalb nach jeder Säugezeit eine Phase der Erholung und Regeneration. Diese findet bevorzugt im Wartestall statt, in dem Sauen den größten Teil ihrer Nutzungsdauer verbringen. 5 bis 10 % gruppen- oder systemuntaugliche Sauen sind ein deutlicher Hinweis darauf, dass Defizite in den Fütterungs- und/oder Haltungseinrichtungen bestehen. Die sprunghaft angestiegenen hohen Remontierungsraten beruhen zu einem großen Teil auf Warteställen, bei deren Planung das Verhalten der Sauen zu wenig berücksichtigt wird. Ohne eine stabile Rangordnung, ungestörte Fütterung, genügend Sättigungsfutter und entsprechenden Liegekomfort können die Probleme mit der Klauengesundheit nicht zufriedenstellend gelöst werden.

Nur mit diesen Vorbeugemaßnahmen erreichen Ferkelerzeugerbetriebe niedrige Arbeits- und Produktionskosten. Die Behandlung von Sauen im Klauenpflegestand und die Aufstallung in Krankbuchten kann sich nur auf einen sehr kleinen Teil der Herde beschränken. Der Schlüssel zum Erfolg liegt deshalb in der Prävention. Wie positiv sich Stroh im Liegebereich im Gegensatz zu vollperforierten Liegeflächen auswirkt, geht aus Abbildung 13 deutlich hervor.

Klauengesundheit von Zuchtsauen – Ergebnisse einer Verlaufsuntersuchung

Claw Health of Breeding Sows – Results of a Progression Study

DIRK SCHÄFFER, HEIDRUN NITZER, EBERHARD VON BORELL

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Naturwissenschaftliche Fakultät III, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Theodor-Lieser-Str. 11, 06120 Halle (Saale)

Schlüsselwörter: Zuchtsauen, Klauengesundheit, Fußbodenbeschaffenheit, Kastenstand
 Keywords: *breeding sows, claw health, floor type, farrowing crate*

Zusammenfassung

Im nachfolgenden Beitrag wird die Entwicklung der Klauengesundheit einer Zuchtsauengruppe (n = 27) über vier Abferkelungen vorgestellt.

Anhand eines Notenschemas wurden die Klauen aller vier Gliedmaßen an insgesamt acht Terminen jeweils zu Beginn und am Ende der Haltungsperiode im Abferkelbereich auf Veränderungen untersucht.

Es war festzustellen, dass auf allen drei untersuchten Bodenvarianten (mit unterschiedlichem Perforationsgrad) mit zunehmendem Alter der Sauen eine kontinuierliche Verschlechterung des Gesundheitszustandes der Klauen auftrat. Die Ursachen waren vor allem im Klauenwachstum, in Afterklauenabrissen und den Rissen in den Ballen zu finden. Ein Schnitt der Klauen bei einem Teil der Sauen wirkte sich positiv auf die Klauengesundheit aus.

In weiteren Erhebungen sollen Sauengruppen unterschiedlicher Genetik auf verschiedenen Fußbodentypen in unterschiedlichen Abferkelsystemen untersucht werden.

Summary

The following paper describes the progression history of claw health in a group of breeding sows (total of n = 27) during four consecutive farrowings.

The claws from each of four legs were systematically scored twice at the beginning and end of each farrowing housing period for any changes.

Progression of sow age was associated with a deterioration of claw health independently of the three floor type variants (differing in their perforation degree) that were assessed. Claw damages were mainly caused by claw growth, pad abrasions and tear-offs of the dewclaw. Claw trimming performed in some sows had a positive effect on claw health.

Further studies should include more sow groups with a different genetic background housed in various farrowing systems on different floor types.

1 Versuchsaufbau und Zielsetzung

Im Rahmen eines vom Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projektes sollten die Effekte des Perforationsgrades des Fußbodens (drei Varianten) auf Merkmale der Tiergesundheit (Schwerpunkt Gliedmaßen) und des Tierverhaltens an einer Sauengruppe über mehrere Abferkelungen untersucht werden. Dafür war es notwendig, entsprechende Jungsaugen mit weitestgehend unbelasteten Gliedmaßen in einem Zuchtbetrieb auszuwählen. Eine einheitliche Beurteilung der Klauen (vor allem der Ballen und Sohlen) an allen vier Gliedmaßen war zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich, da alle Sauen ausschließlich in Bauchlage in den Kastenständen lagen und auf diese Form der Untersuchung noch nicht konditioniert waren.

Resultierend aus den Ergebnissen der Gelenkbonitur im Deckzentrum zur 1. Besamung (SCHÄFFER et al., 2007) kamen 30 ausgewählte Hermitage-Jungsaugen aus einem anhaltischen Zuchtbetrieb am 70. Trächtigkeitstag in das Versuchszentrum der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Die Aufstallung erfolgte in drei Stallabteilen mit je 5 zweireihig angeordneten Abferkelbuchten.

In den 250 cm langen und 168 cm breiten konventionellen Abferkelbuchten kamen zwei verschiedene Typen von Fußböden (Gussroste der Firma Schonlau) zum Einsatz, deren Kombination die drei Versuchsvarianten ergab (Tab. 1).

Jede Sau wurde bei allen Abferkelungen (AF) in einer ihr zugeordneten Bucht aufgestellt, sodass sie während des gesamten Versuches auf einer Fußbodenvariante stand.

Aufgrund von Trächtigkeitsproblemen reduzierte sich die Zahl der Altsauen bis zur 4. Abferkelung. Nachfolgend werden deshalb die Daten von 27 Altsauen vorgestellt.

Tab. 1: Überblick über die drei Varianten der Fußbodengestaltung im Bereich des Kastenstandes in den Abferkelbuchten und die Anzahl der Sauen im Versuchsverlauf

Tab. 1: Description of the three floor types in the farrowing crate and the number and distribution of breeding sows in the experiment

Bodenvariante	Beschreibung	Sauen (n) 1.–3. AF	Sauen (n) 4. AF
Spaltenboden	100 % perforiert	10	5
Mix-Boden	vorderer Bereich (50 %): plan befestigt hinterer Bereich (50 %): perforiert	8	3
Planer Boden	100 % plan (< 10 % Perforation)	9	3

Eine vierte Variante ergab sich im Herkunftsbetrieb der Sauen, wo 11 verbliebene Zuchtsauen analog untersucht wurden, die ebenfalls in konventionellen Abferkelbuchten, aber auf Metallrosten im Kastenstand, aufgestellt waren.

2 Methode der Klauenbonitur

Für die Klauenbonitur wurde der vom niederländischen Netzwerk Gruppenhaltung entwickelte „Klauen-Check“ verwendet (HOOFs, 2007). Das in der Zeitschrift „Schweinezucht und Schweinemast“ vorgestellte Bilderschema (ARDEN, 2006) wurde allerdings entsprechend den derzeitigen Erfahrungen angepasst und um weitere mögliche Befunde erweitert. So waren bisher bei keiner untersuchten Sau Wucherungen im Ballenbereich, die auf Hornhauterkrankungen hindeuten, feststellbar. Bei der Kontrolle des Wandhorns wird auch der Zustand der Sohle mit einbezogen (Tab. 2).

Tab. 2: Notenschema für die Bonitur der Klauengesundheit (veränderte Zustandsbeschreibungen auf Grundlage des SUS-Klauen-Checks, 2006)

Tab. 2: Scoring system for claw health (modified descriptions for claw condition scores based on the SUS-Claw-Check, 2006)

Merkmal	Note 1 ¹⁾	Note 2	Note 3	Note 4
Zustand der Ballenzone	glatt; keine Risse	leicht geschwollen; kleine Risse	geschwollen; rissig	geschwollen; Ablösungen; deutliche Risse
Länge der Afterklauen	ausgeglichen	etwas zu lang: über Klauenrand	viel zu lang: weit über Klauenrand	Abrisse der Afterklauen
Länge der Innen- und Außenklauen	ausgeglichen	etwas zu lang: unausgeglichen	viel zu lang: eine/beide Klaue(n)	extrem lang: überwachsen; Missbildungen
Zustand von Wandhorn und Sohle	eben; keine Risse und Druckstellen	kleine Risse; kleine Druckstellen	große Risse; blutige Druckstellen	Spalten; Löcher; Abbrüche
Hautverletzungen über der Klaue	keine Haut- verletzungen	leichte Hautver- letzungen: ver- schorfte, rissige Stellen	starke Haut- verletzungen: offene Wunden	extreme Kron- saumentzündung; großflächige Wunden

¹⁾ Ohne Veränderungen/*without any detrimental alterations*.

Die Bonitur erfolgte jeweils zu Beginn und zum Ende von jeder Abferkelung in den Abferkelbuchten. Um Erfassungsfehlern vorzubeugen, wurde die Bonitur ausschließlich von zwei Personen durchgeführt. Zusätzlich wurde jede Klaue mit einer Digitalkamera fotografiert.

Aufgrund der Befundlage war es notwendig, während der 3. Abferkelung einen Schnitt der Klauen bei 10 Sauen durchzuführen und bei allen Sauen die Länge der Afterklauen zu korrigieren. Offene Wunden und Klauenabriss wurden umgehend mit buchenholzteergetränkten Klebeverbänden behandelt.

Für jede der vier Gliedmaßen ergaben sich entsprechend der Anzahl der fünf Merkmale Noten in der Bewertung von 1 bis 4. Die ermittelten Noten wurden von den Erfassungsbögen in das Office-Programm Excel eingegeben und anschließend bearbeitet. Für die Interpretation der Ergebnisse wurde aus den 20 Einzelnoten der vier Gliedmaßen eine mittlere Note des Klauenzustandes für jede Sau zum Boniturzeitpunkt berechnet.

3 Ergebnisse

Die Noten zeigen deutlich, dass auf allen Bodenvarianten mit zunehmendem Alter der Sauen eine kontinuierliche Verschlechterung des Zustandes der Klauen auftrat (Tab. 3). Die Ursachen finden sich im Wachstum der Afterklauen, wobei die Afterklauen der Hintergliedmaßen stärker wuchsen als die der Vordergliedmaßen und in den Abrissen einzelner Afterklauen. Diese traten sowohl während der Säugeperiode im Kastenstand als auch in der Gruppenhaltung – und hier weitaus häufiger – auf. Eine im Vergleich zur Innenklaue längere Außenklaue wurde vermehrt bei den abgesetzten Sauen beobachtet.

Nach der 2. Abferkelung wurden bei allen Sauen Verletzungen (Risse und Druckstellen) des Wandhorns nachgewiesen. Großflächige und blutende Wunden traten hauptsächlich an den Hintergliedmaßen im Kronsaumbereich auf und wurden erst während der 2. Abferkelung festgestellt.

Beim Vergleich der Böden fällt auf, dass die Klauenschäden mit zunehmendem Spaltenanteil leicht ansteigen. Der höchste Wert auf planem Boden am Ende der letzten Abferkelung ist darauf zurückzuführen, dass aus dieser Gruppe nur bei einer Sau ein Klauenschnitt erfolgte.

Tab. 3: Entwicklung der Noten von Klauenmerkmalen einer Sauengruppe ($n = 27$) auf drei verschiedenen Fußböden (mittlere Noten \pm Standardabweichungen von 5 Klauenmerkmalen aller vier Gliedmaßen)

Tab. 3: Score progression for claw characteristics in a group of sows ($n = 27$) on three different flooring types (mean score \pm standard deviation of five claw characteristics from all four legs)

Abferkelungen	Planer Boden (MW \pm s)	Mix-Böden (MW \pm s)	Spaltenboden (MW \pm s)	alle Böden (MW \pm s)
Beginn 1. AF	1,53 \pm 0,23	1,58 \pm 0,28	1,74 \pm 0,34	1,62 \pm 0,29
Ende 1. AF	1,96 \pm 0,07	2,08 \pm 0,16	2,01 \pm 0,23	2,02 \pm 0,17
Beginn 2. AF	2,06 \pm 0,10	2,11 \pm 0,16	2,17 \pm 0,16	2,11 \pm 0,14
Ende 2. AF	2,11 \pm 0,26	2,15 \pm 0,31	2,17 \pm 0,20	2,15 \pm 0,25
Beginn 3. AF	2,26 \pm 0,24	2,32 \pm 0,23	2,34 \pm 0,35	2,31 \pm 0,27
Ende 3. AF	2,24 \pm 0,28	2,32 \pm 0,25	2,47 \pm 0,25	2,35 \pm 0,26
Beginn 4. AF	2,26 \pm 0,29	2,40 \pm 0,18	2,47 \pm 0,11	2,37 \pm 0,20
Ende 4. AF	2,60 \pm 0,26	2,48 \pm 0,25	2,53 \pm 0,25	2,53 \pm 0,22

Die Wirkung der Klauenkorrektur, die vor der Besamung zur vierten Abferkelung bei einem Teil der Sauen durchgeführt wurde, kann anhand der Differenzen zwischen den mittleren Noten der einzelnen Abferkelungen für allen Böden belegt werden (Tab. 4). Entweder traten keine weiteren Schäden auf oder es kam nur zu einer leichten Zunahme. Auf der planen Bodenvariante war zudem eine Verbesserung des Klauenzustandes zu verzeichnen. Der generelle Anstieg auf allen Böden zum Ende der letzten Abferkelung wird dann vor allem durch die Sauen ohne Klauenkorrektur verursacht bzw. wäre bereits eine erneute Korrektur bei den Sauen mit den bereits geschnittenen Klauen notwendig. Der Zustand der Ballen verschlechterte sich kontinuierlich über den gesamten Untersu-

chungszeitraum. Schon zum Zeitpunkt der Besamung zum 2. Wurf lag bei 90 % der Sauen großflächige Hornhautablösungen vor. Nach der Besamung zum 3. Wurf war dies bei allen Sauen feststellbar (100 % – Note 4). Auch an den Ballen kann durch eine Korrektur der übertretenen Hornhautbereiche bzw. der durch die Risse im Ballen entstehenden Hornplatten mit einem Klauenmesser eine Verbesserung der Ballenoberfläche erreicht werden. Allerdings werden die Ballen bei der nächsten Aufstallung zur Abferkelung wieder rissig und spröde, da jede Feuchtigkeit durch die Spalten sofort abgeleitet wird.

Ein Beispiel zum Verlauf der Ballenschäden zeigt die Abbildung 1 für die Sauen der 4. Variante im Zuchtbetrieb.

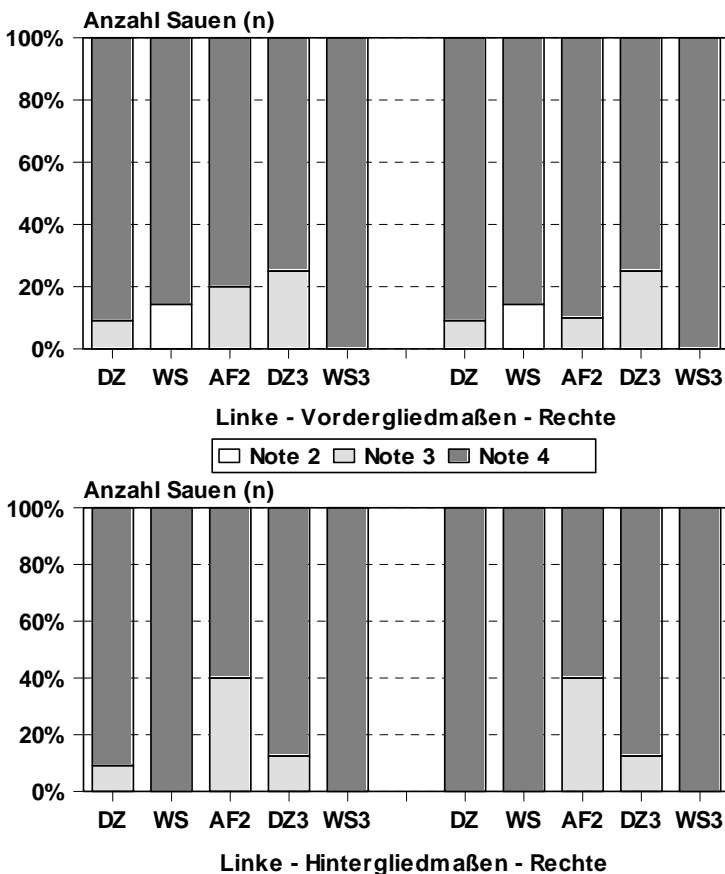


Abb. 1: Zustand der Ballen von 11 Sauen im Verlauf der Aufstallungen von der 2. Besamung (DZ) bis zur 2. Abferkelung (AF2) und im Wartestall (WS3) vor der 3. Abferkelung (Variante 4).

Dargestellt sind Boniturnoten; Note 1 (ohne Veränderungen) wurde nicht vergeben.

Fig. 1: Condition of pads in a group of 11 sows representing the period between the 2nd insemination (DZ) until the 2nd farrowing (AF2) and during the gestation group housing period (WS3) until the 3rd farrowing (variant 4). Shaded bars represent scores; score 1 (without any alterations) was not represented.

Tab. 4: Differenzen zwischen den mittleren Noten der Klauenmerkmale aus Tabelle 3
 Tab. 4: Differences between mean scores of claw characteristics calculated from table 3

Abferkelungen	Planer Boden	Mix-Boden	Spaltenboden	Alle Böden
Innerhalb der 1. AF	0,43	0,50	0,27	0,40
Zwischen 1. und 2. AF	0,10	0,03	0,16	0,09
Innerhalb der 2. AF	0,05	0,04	0	0,04
Zwischen 2. und 3. AF	0,15	0,17	0,17	0,16
Innerhalb der 3. AF	- 0,02 ¹⁾	0	0,13	0,04
Zwischen 3. und 4. AF	0,02	0,08	0	0,02
Innerhalb der 4. AF	0,34	0,08	0,06	0,16

¹⁾ Negativer Wert = Verbesserung des Zustandes der Klauen.
 Negative value = improvement of claw condition.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Gegensatz zu den Aussagen von SOMMER et al. (1999) zum Einsatz von Checklisten zur Klauenbonitur eignet sich das verwendete Beurteilungsschema sehr gut, um Aussagen über die Klauengesundheit von Sauen zu treffen und um Rückschlüsse auf Haltungsbedingungen sowie Pflegemaßnahmen zu ziehen. Bei an den Umgang mit dem Menschen gewöhnten Sauen ist es deshalb auch nicht erforderlich, dass die Sauen fixiert und die Klauen gesäubert sind, wenn man die Daten am liegenden Tier in ausreichender Zeit erheben kann.

Bereits bei der Selektion von Jungsau, die zur Ferkelerzeugung verwendet werden sollen, muss auf intensive Klauenschäden und -fehlstellungen geachtet werden, damit diese Tiere nicht zur Zucht zugelassen werden.

Der Klauengesundheit muss bei Sauen mehr Aufmerksamkeit entgegengebracht werden. Dies ergibt sich sowohl durch den finanziellen Schaden einer vorzeitig ausscheidenden Zuchtsau (GRANDJOT, 2007) als auch durch die auftretenden Schmerzen und Leiden des Einzeltieres, die z.B. der Abriss einer Afterklaue verursacht. Eine Verbesserung der eingesetzten Spaltenböden in der Sauenhaltung ist ebenso zu empfehlen wie ein regelmäßiges Schneiden der Klauen. Dabei kann eine Korrektur der Afterklauenlänge bereits am stehenden Tier vorgenommen werden, ohne die Gliedmaßen zu fixieren, wenn ein entsprechend dimensionierter Klauenschneider vorhanden ist.

Besonders während der Gruppenhaltung im Wartebereich wäre eine deutliche Trennung in Ruhe- und Laufbereich mit entsprechender Gestaltung des Liegebereiches in Form eingestreuter oder weicher verformbarer Festflächen wirkungsvoller, um vor allem großflächige Wunden im Kronsaumbereich, die Ausbildung von Schwielen und Schleimbeuteln an den Gelenken sowie Afterklauenabbrisse zu vermeiden.

Es sind weitere Verlaufsuntersuchungen an größeren Sauengruppen geplant, die sowohl verschiedene Genotypen als auch Aufstallungsvarianten berücksichtigen sollen, um die bisherigen Ergebnisse zu ergänzen und statistisch abzusichern.

Literatur

- Arden, M. (2006): Machen Sie den Klauen-Check! Schweinezucht und Schweinemast 6, 34–36
- Grandjot, G. (2007): Klauenprobleme gehen ins Geld. Schweinezucht und Schweinemast 5, 28–31
- Hoofs, A. (2007): Aufzucht Jungsauen, Tiergesundheit und Klauen-Check Sauen. SUS-Seminar „Klauengesundheit beim Schwein fördern“, 26.01.2007, Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, In: Seminarunterlagen
- Schäffer, D.; Nitzer, H.; von Borell, E. (2007): Auswirkung unterschiedlicher Fußbodenmaterialien auf die Gliedmaßengesundheit von Sauen im Kastenstand. 8. Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“, Bonn, 9.–11. 10.2007, 132–37
- Schäffer, D.; Nitzer, H.; von Borell, E. (2008): Gliedmaßengesundheit von Zuchtsauen – Erste Erfahrungen einer Verlaufsuntersuchung. 13. Internationale Fachtagung zum Thema Tierschutz, Nürtingen, 21./22. 02.2008, 61–69
- Sommer, B.; Leeb, C.; Troxler, J.; Schuh, M. (1999): Erstellung eines praxistauglichen Schlüssels zur Beurteilung von Haltungssystemen tragender Zuchtsauen auf Tiergerechtigkeit anhand von Integumentveränderungen. 14. IGN-Tagung – 6. FREILAND-Tagung, Wien, 29.09.–01.10.1999, 116–119

Untersuchungen zur Akzeptanz und Größe von Ferkelnestern

Investigations on acceptance and appropriate size of piglet nests

ECKHARD MEYER¹, MARTIN VOGEL², MARTIN WÄHNER²

¹ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Fachbereich tierische Erzeugung, Köllitsch
² Hochschule Anhalt

Schlüsselwörter: Saugferkel, Oberflächentemperatur Ferkelnest, Ferkelnestakzeptanz
Keywords: *suckling pigs, surface temperature of piglet nests, piglet nest acceptance*

Zusammenfassung

Für die optimale Größe von Ferkelnestern ist die Wurf- und Körpergröße, aber auch das Liegeverhalten der Ferkel maßgeblich. Ein über Tierbeobachtung bestimmter Flächenanspruch je Saugferkel von 0,04 m² bei der Geburt sowie von 0,08 m² vor dem Absetzen (0,06 m² je Saugferkel im Mittel) lag am Anfang etwas höher und am Ende etwas niedriger als ein über Vermessung der Körpergröße abgeleiteter Anspruch. Bei der Ableitung über das Körpergewicht unter Anwendung der Formeln für Mastschweine führt die Unterstellung der Bauchlage der Ferkel zu einem etwas geringeren mittleren Platzanspruch (0,05 m² je Ferkel), die Unterstellung einer Seitenlage führt jedoch zu deutlich höheren (0,09 m² je Ferkel) Bedarfswerten. Der über Beobachtung oder Vermessung abgeleitete mittlere Platzanspruch von 0,065 m² stellt den Flächenbedarf von Ferkeln in der zweiten Säugeweche dar. Bei nicht optimal eingestellten Ferkelnestern wählen nur etwa 50 % der Saugferkel das Ferkelnest als Liegefläche. Alternativ werden die Stirn- und Längseiten der Bucht als Liegefläche gewählt. Die Bedeutung der Oberflächentemperatur des Ferkelnestes nimmt mit dem Alter der Ferkel ab. In der ersten Säugeweche sind 38–39 °C, über 40 °C sind unvorteilhaft. Für ältere Ferkel reichen je nach Umgebungstemperatur 33 °C bis 36 °C. Die optimale Oberflächentemperatur der Ferkelnester ist mit Ausnahme zu hoher Temperaturen (>40 °C) nicht so wichtig wie die Raumtemperatur im Abferkelstall. Steigende Raumtemperaturen senken viel stärker die Akzeptanz, als optimale Oberflächentemperaturen der Ferkelnester diese erhöhen können.

Summary

The optimal size of piglet nests depends on the litter size, from the physical development of the piglets, but also from the nest acceptance. By animal observation it was determined an area of 0.04 m² claim per piglet at birth and from 0.08 m² before weaning (0.06 m² per piglets on average). Derivation of claim by body weight and using the formula for fattening pigs, the subordination of the prone position of the piglets leads to a slightly lower average space requirements (0.05 m² per piglet), placement of a lateral position, however, leads to significantly higher (0.09 m² per pig) demand values. For construction of piglet nests used value of 0,065 m² per piglet is piglet's space requirement in

the second nursing week. In addition to body size space requirement depends on lying behaviour and nest acceptance. In not optimally adjusted piglet nests only about 50% of the piglets accept the nest as laying area. The importance of the surface temperature of the piglet nest declines with age of the piglets. The optimum surface temperature of heating plates in the first nursing week is 38-39°C. Optimum surface temperature of 33°C to 36°C for older piglets depends on the ambient temperature. The optimum surface temperature of the piglet nest, is not as important as the room temperature in the farrowing house. Rising temperatures reduce acceptance much more than the optimum surface temperature of the piglet nest can increase it.

1 Fragestellung und Literatur

Mit steigender Fruchtbarkeitsleistung der Sauen müssen auch die Ferkelnester in der Größe sowie dem erforderlichen Energieaufwand weiterentwickelt werden. Beim Platzbedarf muss unterschieden werden zwischen individuellem und sozialem Platzbedarf. Der Platzbedarf ist bei in Gruppen gehaltenen Tieren geringer, weil die Verhaltensweisen, welche das Platzbedürfnis begründen, von den verschiedenen Individuen selten gleichzeitig ausgeführt werden (PETHERICK, 2007). Somit kommt es bei der Ableitung des Platzbedarfes nicht nur auf die Körpergröße, sondern vor allem auch auf die Körperhaltung der Tiere an. Formeln für den Platzbedarf sind für die Entwicklung von Mastschweinen anhand des Körpergewichtes abgeleitet worden (PETHERICK und BAXTER, 1981; PETHERICK, 1983) und beschreiben ihn mit der Formel: Platzbedarf = $k \cdot \text{Körpergewicht}^{0,67}$. Dabei beschreibt „k“ einen konstanten von der Körperhaltung der Tiere (Bauchlage, Seitenlage) abhängigen Faktor. Die in der jüngeren Literatur verwendeten k-Werte unterscheiden sich von früheren Berechnungen. EKKELE et al. (2003) geben als Platzbedarf für das Liegen von Mastschweinen die folgenden k-Werte an.

Tab.1: Platzbedarf von Mastschweinen in Abhängigkeit vom Körpergewicht

Tab.1: Space requirement of fattening pigs depending on body weight of the animals

	Liegeposition		
	gestreckte Seitenlage	Seitenlage	Bauchlage
Formel	$0,047 \cdot \text{KGW}^{0,67}$	$0,033 \cdot \text{KGW}^{0,67}$	$0,019 \cdot \text{KGW}^{0,67}$

Die Größe der Tiere sowie das Tierverhalten spielen bei der Ableitung des Platzbedarfes eine Rolle. Aktiv beheizte Liegebereiche für die Saugferkel konkurrieren aber auch mit dem Temperaturanspruch der zunehmend höher leistenden Sauen. Dazu kommen nicht befriedigende Möglichkeiten, die Ferkelnester an steigende Außentemperaturen im Sommer anzupassen. In der Folge verlagern die Ferkel ihre Liegefläche in kühlere Buchtenbereiche, so sind Erdrückungen vor allem auf kühleren Metallböden nicht ausgeschlossen. In einer ersten Versuchsreihe sollte deshalb geklärt werden, welche Faktoren die Akzeptanz der Ferkelnester sowie einzelner Bereiche der Abferkelbucht beeinflussen. In einer abschließenden Untersuchung sollte geklärt werden, mit welchem Platzbedarf bei Saugferkeln und 4 Wochen Säugezeit zu rechnen ist.

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten im LVG Köllitsch über 26 Abferkeldurchgänge (16 bis 20 Sauen je Durchgang) in 21 nicht aufeinanderfolgenden Versuchsmonaten (Januar 2007 bis Oktober 2010). Die praxisüblichen Abferkelbuchten in diagonaler sowie in gerader Aufstallung waren mit Ferkelnestern aus Polymerbeton der Firma Durofarm in einer Größe von $0,4 \cdot 1,2$ m ($0,48$ m²) ausgestattet und in Reihe geschaltet (je 5 Nester). Die Fußbodentemperatur des Kunststoffspaltenbodens sowie des Ferkelnestes wurde an jeweils drei Punkten mithilfe eines Infrarotthermometers (Fa. Raytek/Raynger MXTM) im Abstand von ca. 20 cm vom Boden gemessen (Abb. 1). Unter der Maßgabe Leistungsdepressionen zu vermeiden, wurde die Vorlauftemperatur von 45 °C in geringem Maße (2–4 °C) variiert, um eine etwas höhere Variation der Oberflächentemperaturen der Ferkelnester zu erreichen. Die Messung erfolgte während einer Säugezeit von 28 Tagen am 3. und 14. Tag nach der Geburt sowie am Tag des Absetzens. Parallel zur Aufzeichnung der Temperatur wurde erfasst, welcher Anteil des Wurfs sich liegend auf definierten Abschnitten des Fußbodens oder dem Ferkelnest aufhielt. Zur Messung wurden immer die gleichen Zeitfenster zwischen 9 und 12 Uhr am Vormittag genutzt. Dazu musste sich der ganze Wurf in Ruheposition befinden und die gemessene Oberflächentemperatur von der Körperwärme der Ferkel unbeeinflusst sein. Die Messpunkte wurden wie in Abbildung 1 dargestellt gewählt. Die drei Messpunkte auf dem Kunststoffspaltenboden wurden anhand der tatsächlich eingenommen Liegepositionen der Ferkel in der Bucht innerhalb der bezeichneten Positionen variiert.

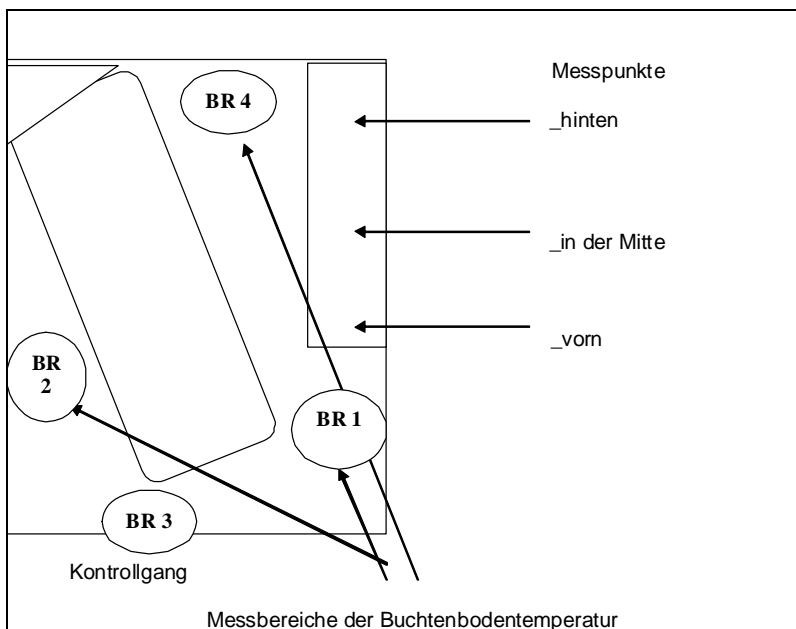


Abb. 1: Mess- bzw. Boniturbereiche innerhalb einer Abferkelbucht
 Fig. 1: Measurement points

Insgesamt wurden die Ergebnisse von 1079 Buchtenbonituren sowie die dazugehörigen Temperaturmessungen von Raum- und Fußboden miteinander verrechnet. In zwei abschließenden Versuchsdurchgängen wurden zusätzlich die Körperdimensionen der Ferkel (Anpaarungen DE•DL Sauen mit Duroc- und Pietrain-Ebern) wöchentlich mit einem Maßband erfasst. Die Ermittlung der Länge erfolgte einmal vom Schwanzansatz bis zum Nackenwirbel und zum zweiten bis zur Rüsselspitze, um das unterschiedliche Verhältnis von Rumpf zu Kopf in der Entwicklung der Ferkel zu erfassen. Die Körperhöhe wurde zwischen Klauenansatz bis zur Schulter bei gestrecktem sowie bei angewinkeltem Bein gemessen. Die Schulterbreite maß dabei den Abstand zwischen dem Ansatz des rechten und linken vorderen Beines. Die für das Liegen erforderliche Oberfläche wurde anhand der Messwerte unter Anwendung eines Korrekturfaktors berechnet und mit der tatsächlich erforderlichen Fläche aus den Tierbeobachtungen sowie den Formeln aus der Literatur verglichen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Grundlage für die Ableitung des Platzbedarfes ist die Entwicklung der Körperdimension und das Liegeverhalten. Eine theoretische Ableitung berücksichtigt im Gegensatz zur Tierbeobachtung aber nicht das Liege- und Sozialverhalten der Ferkel. Diese liegen nach praktischen Beobachtungen sowohl in Bauch- als auch in Seitenlage, sodass der beobachtete Flächenanspruch den praktischen Verhältnissen am nächsten kommt.

Tab. 2: Ableitung des Liegeflächenbedarfes über das gemessene Körpergewicht, die Körperdimension sowie das beobachtete Liegeverhalten

Tab. 2: Derivation of laying area using body weight, body size and lying behaviour

	Körpergewicht gemessen kg	Berechnet (Seitenlage - 0.033) m ² /Ferkel	Berechnet (Bauchlage - 0.019) m ² /Ferkel	Beobachtet m ² /Ferkel	Vermessen m ² /Ferkel
Geburt	1,3	0,04	0,02	0,04	0,03
1. Lebenswoche	2,7	0,06	0,04	0,05	0,05
2. Lebenswoche	4,2	0,09	0,05	0,06	0,07
3. Lebenswoche	5,9	0,11	0,06	0,07	0,08
4. Lebenswoche	7,7	0,13	0,08	0,08	0,09
Mittel	4,3	0,09	0,05	0,06	0,064

Die Messungen unterstellen eine reine Seitenlage, bei der die Ferkel die Beine an den Bauch anziehen und die Köpfe zur Hälfte übereinander legen. Diese Körperhaltung ist nach praktischen Beobachtungen eine realistische Unterstellung, die sich aber mit dem Alter verändert. Der vom tatsächlich beobachteten Liegeverhalten der Saugferkel abgeleitete Bedarf liegt am Anfang der Säugezeit etwas höher (0,04 vs. 0,03 m²) und am Ende etwas niedriger als der von der Körpergröße abgeleitete Bedarf. Die Ferkel liegen am Anfang eher unregelmäßiger und in Seitenlage. Der beobachtete Liegeflä-

chenbedarf von $0,04 \text{ m}^2$ je neugeborenes Saugferkel entspricht damit dem Wert, der sich über das Körpergewicht und Unterstellung einer reinen Seitenlage ergibt. Zum Ende der Säugezeit liegen die Ferkel eher in Bauchlage und regelmäßiger, was eine stärkere Übereinstimmung des beobachteten Bedarfes mit dem über die Formel für das Körpergewicht und Unterstellung einer Bauchlage der Ferkel entspricht. Im Mittel über alle Untersuchungszeitpunkte entsprechen der beobachtete sowie der über die Körpermaße abgeleitete Flächenanspruch der in der Praxis verwendeten Planungsgröße von $0,065 \text{ m}^2$ je Saugferkel. Das entspricht dem Liegeflächenanspruch am 14. Lebenstag. Gleichzeitig ist der Flächenanspruch untrennbar mit der Akzeptanz des Ferkelnestes verbunden. Bei nicht optimal eingestellten Ferkelnestern wählen im Mittel über alle Messzeitpunkte nur etwa 50 % der Saugferkel das Ferkelnest als Liegefläche. Aufgrund des verfügbaren Platzangebotes werden in diagonaler Aufstallung alternativ vor allem die Stirnseiten, in gerader Aufstallung auch die Längseiten der Bucht als Liegefläche gewählt. Die Bedeutung der Oberflächentemperatur des Ferkelnestes nimmt mit dem Alter der Ferkel erwartungsgemäß ab. Ein wesentlicher Punkt für die Ferkelnestakzeptanz ist deren optimale Oberflächentemperatur. Dazu wurden die gewonnenen Daten altersabhängig auf die Streuung der Oberflächentemperatur in der Mitte des Ferkelnestes, also auf die wärmste Stelle bezogen.

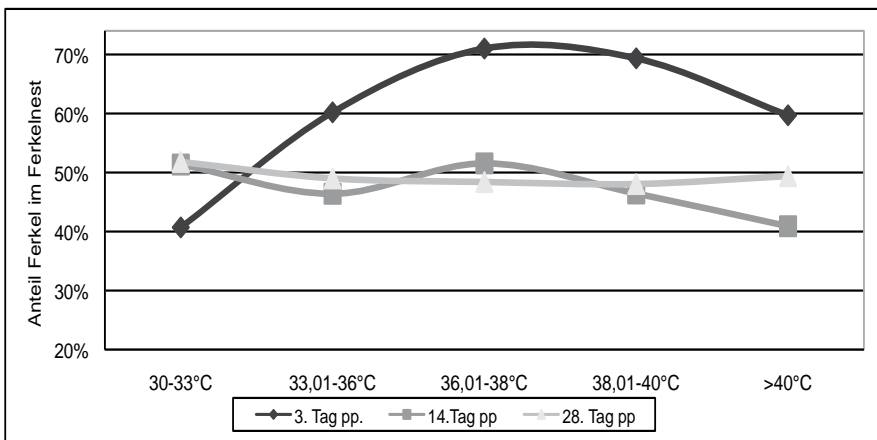


Abb. 2: Akzeptanz des Ferkelnestes in Abhängigkeit vom Alter der Ferkel und der Oberflächentemperatur
 Fig. 2: Acceptance of piglet nest depending on age of the piglets and surface temperature of the nest

Bis zum Alter von einer Woche reagieren Saugferkel empfindlich auf Schwankungen in der Oberflächentemperatur. Das Maximum der Akzeptanz von mehr als 70 % wird in der Spanne von 38–39 °C beobachtet, bei 40 °C und darüber nimmt sie deutlich ab. Mehr als 80 % der Ferkel werden auf der Heizplatte angetroffen, wenn diese in der ersten Woche 39,2 °C, in der zweiten Woche 37,2 °C und in der dritten Woche 36,5 °C warm ist. Vorteilhaft bzw. optimale Temperaturen bewegen sich also in einem sehr engen Bereich und sind im Mittel eher niedriger als 39 °C. Um diese Genauigkeit herzustellen, kommt das Prinzip der konventionellen Reihenschaltung (Vor- und Rücklauf) von Ferkelnestern

mit Heizschlangen schnell an Grenzen, wie eigentlich schon die gefundene Variabilität der Temperaturen beweist. In den weiteren Lebenswochen ist die Akzeptanz der Ferkelnester geringer. Das Optimum ist in der zweiten Lebenswoche noch zu erkennen, in der vierten schon nicht mehr, weil der Wärmebedarf abnimmt und andere Faktoren eine Rolle spielen. Drei Tage alte Ferkel, die sich nicht im vorgesehenen Ferkelnest befinden, halten sich zu etwa gleichen Teilen auf der dem Ferkelnest gegenüber liegenden Seite (2) am Gesäuge und im Bereich zwischen dem Kopf der Sau und dem Ferkelnest (4) auf. Ältere Ferkel ziehen sich bevorzugt (durchschnittlich 1/3 des Wurfes) in den Bereich zwischen Ferkelnest und Sauentrog zurück.

Während die Ferkelnestakzeptanz der Ferkel in der ersten Säugewoche über eine optimale Ferkelnesttemperatur ($< 40^\circ\text{C}$) beeinflusst werden kann, spielt für ältere Ferkel die mit der Außentemperatur schwankende Raumtemperatur eine größere Rolle. Mit steigender Raumtemperatur fällt altersabhängig die Akzeptanz des Ferkelnestes und steigt die Häufigkeit des unerwünschten Liegens auf dem Spaltenboden. Die jungen Ferkel ziehen sich in den etwas wärmeren ($+1^\circ\text{C}$) Fußbodenbereich 4 zurück, die Älteren verlagern sich noch mehr in den kühleren Fußbodenbereich 2 und 1 und sind damit verletzungsgefährdet.

Tab. 3: Verteilung der Liegezonon von Saugferkeln innerhalb der Abferkelbucht bei unterschiedlicher Raumtemperatur

Tab. 3: Laying area of nursing piglets depending on temperature of farrowing compartment

	18–20 °C	20,01–22 °C	22,01–24 °C	> 24,01 °C	Signifikanz
% Ferkel im Ferkelnest	68	62	49	35	a,a,b,c
% Ferkel im Bereich 4	20	25	31	36	a,a,b,c
% Ferkel im Bereich 2	12	11	15	21	a,a,a,b
% Ferkel im Bereich 1	1	2	5	8	a,a,b,c
% Ferkel im Bereich 3	0	1	4	0	ab,ab,b,a

Die gefundenen nur geringen Temperaturunterschiede des Kunststoffspaltenbodens ($0,7^\circ\text{C}$) an unterschiedlichen Stellen der Abferkelbucht können nicht als alleinige Ursache für die Präferenz der Ferkel und deren Veränderung sein. Vermutlich spielt die Sau als sozialer Taktgeber hier eine besondere Rolle, sodass der Bereich 4 und 2 eine besondere Attraktivität für die Ferkel hat. Die Frage, wie groß die Ferkelnester wirklich sein sollen, hängt zunächst von der Akzeptanz der Liegefläche, der Wurfgröße und von der Frage ab, wie lange alle Ferkel einen beheizten Liegeplatz vorfinden sollen. Soll das Ferkelnest bis zum Ende der Säugezeit Platz bieten, dann sind je nach Betrachtung etwa $0,08\text{ m}^2$ je Saugferkel erforderlich. Das bedeutet für Würfe mit 12 Ferkel eine Größe von etwa einem $1,0\text{ m}^2$, für größere Würfe entsprechend mehr. Damit zunehmend größere Ferkelnester in den Buchten Platz finden ohne Hitzestress für die Sauen zu verursachen, sollte die Liegefläche für ältere Ferkel perspektivisch aus aktiven beheizten und passiven

Zonen mit guten Isoliereigenschaften bestehen. Um eine gute Akzeptanz zu sichern, sollten die Ferkelnester vor allem im direkten Sicht- oder Kontaktbereich mit dem Kopf der Sauen angelegt werden.

Literatur

- Petherick und Baxter (1981): Modelling the static spatial requirements of livestock. McCormack, J.A.D., (Ed.): Modelling, design and evaluation of agricultural buildings, CIGR Section 2 Seminar. Scottish Farm buildings investigation unit, Aberdeen, UK, pp. 75–82
- Petherick (1983): A biological basis for the design of space in livestock housing. In: Baxter, S. H. M. R.; McCormack, J. A. C. (Eds.): Farm animal housing and welfare. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 103–120
- Ekkel, E.D.; Spoolder, H.A.M.; Hulsegge, I.; Hopster, H. (2003): Lying characteristics as determinants for space requirements in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 80, 19–30
- Petherick, C.J. (2007): Spatial requirements of animals: allometry and beyond. *Journal of animal behaviour* (2), 197–204

Machbarkeitsnachweis des „Comfort Class“-Konzepts

Proof of Principle of the Comfort Class Concept

WIM HOUWERS^{1,2}, KAREL DE GREEF¹, HERMAN VERMEER¹

¹ Wageningen UR Livestock Research, PO box 65, 8200 AB Lelystad, Niederlande

² Heute GIQS, c/o Universität Bonn, Katzenburgweg 7–9, 53115 Bonn

Schlüsselwörter: Schweine, Verhalten, Bedürfnisse, Schwanzbeißen, Wohlbefinden, Reflexives Design

Keywords: pigs, behaviour, animal welfare, comfort class, needs, reflexive design

Zusammenfassung

„Comfort Class“ beschreibt einen minimalen Anspruch an die Haltung von Mastschweinen, der zu einem gesteigerten Wohlbefinden der Tiere führt. Initiativen für Innovationen im System der Schweinefleischproduktion führten zu einem neuen Marktkonzept. Das Konzept wurde von der Hauptorganisation für Niederländische Schweinehalter (LTO) und vom Tierschutzverband übernommen. Ziel der Studie war der empirische Test, ob ein Mastbetrieb, der das „Comfort Class“-Level erreicht, ein gesteigertes Wohlbefinden bei Schweinen vorweisen kann. In zwei Mastdurchgängen von 144 Schweinen mit unkupierten Schwänzen wurden Verletzungen und Verhaltensmuster dokumentiert. Im ersten Durchgang waren Verletzungen am Schwanz und an der Haut sehr selten. Im zweiten Durchgang hatten bereits vor Beginn 64 % der Tiere angebissene Schwänze. Diese verheilten wieder fast vollständig. Das Schlafverhalten war stark und das Fressverhalten wenig synchronisiert. Die Studie bestätigt, dass das „Comfort Class“-Level in einer guten Lebensqualität der Schweine resultiert. Die theoretischen Anforderungen an den Flächenbedarf und die Anzahl der Fressplätze können ohne nachteilige Effekte beim „Comfort Class“-Haltungssystem reduziert werden.

Summary

‘Comfort Class’ is defined as a specific minimal level of husbandry conditions of animals, to achieve good welfare. A series of interactive innovation initiatives in pork production system have lead to the added value ‘Beter Leven’ hallmark. The concept was adopted by the major Dutch pig farmer’s organization and the major Dutch animal protection NGO. Aim of the study in this facility was to test whether the Comfort Class level results in good welfare for pigs. In two batches of each 144 undocked pigs behavior and skin and tail damage were observed. In the first batch damage was at a low level. The second batch, starting with 64% of the animals having bitten tails, ended with almost all tails recovered. Resting behavior was highly synchronized. Synchronization of eating was limited. The study offered support for the hypothesis that the Comfort Class level results in a good quality of life for pigs. The theoretically derived requirements on space allowance and number of feeders might be reduced.

1 Einleitung

Bedingt durch mehrere Tierseuchen und den regen Einsatz der NGOs entstand in den letzten Jahren ein stark wachsendes gesellschaftliches Bewusstsein zur Haltung von Nutztieren in landwirtschaftlichen Betrieben. Die niederländische Regierung reagierte mit dem Erlass neuer Gesetze auf diese Entwicklung (VARKENSBSLUIT, 1994; IKB Varken, 2008); später wurde dieser Ansatz durch die Förderung von Interessengemeinschaften, die eine Steigerung des Wohlbefindens von Nutztieren zum Ziel haben, erweitert. Die Behörden unterließen ein weiteres, direktes Eingreifen in die konventionelle Schweinehaltung durch weitere Gesetze. Gleichzeitig hat sich die klassische Rolle öffentlicher Organisationen der Agrarforschung und -beratung geändert. Neue Forschungsprojekte mit Teilnahme von Interessengemeinschaften während der Planungsphase, interdisziplinären Forschungsteams und systematischer Reflexion auf Grundvoraussetzungen sind im Schweine-, Geflügel- und Rindersektor gefördert worden.

Das „Comfort Class“-Konzept ist eines der ersten in diesem Bereich geförderten Projekte. In diesem Experiment ist durch die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Tierschutz-NGOs die Idee entstanden, ein auf die Bedürfnisse der Tiere fokussiertes Tierhaltungssystem zu entwerfen. Das Konzept wurde Comfort Class genannt. Der Name bezieht sich auf die vorgenommene Verbesserung der Haltungsbedingungen. Das Konzept wurde anschließend als ein Leitfaden für die Zusammenarbeit der größten niederländischen Landwirtschaftsorganisation (LTO) und der Tierschutzorganisationen NGO übernommen.

Im ersten Schritt hat ein Team von Tierwissenschaftlern, Vertretern der Tierschutzorganisationen und ein Prozessbegleiter, im Kontakt mit einer Gruppe von relevanten Entscheidungsträgern, einen Ansatz für eine radikale Systemverbesserung entwickelt. Sie folgten dabei einer Methode zur Entwicklung nachhaltiger Technologien (DTO) (SMITS und KUHLMANN, 2004; GRIN und VAN STAVEREN, 2006). Durch dieses Vorgehen entstand das Projekt inmitten einer realen Umgebung von beteiligten Interessengemeinschaften und interdisziplinären Wissenschaftlern. Durch den Austausch von Interessen und Informationen wurde eine Systeminnovation ausgeführt, die der Wichtigkeit einer gleichzeitig sozialen und technologischen Wende zum Erreichen einer radikalen Verbesserung der heutigen Verfahren Rechnung trägt. Angenommen wurde, dass die wissenschaftlich bekannten Ursachen (EFSA, 2007) eines eingeschränkten Wohlbefindens von Nutztieren durch veränderte Haltungsbedingungen verbessert werden können. BRACKE et al. (1999 a) beschrieben, dass die von den Tieren empfundene Lebensqualität vom Bedarf der Tiere an die Ausstattung ihrer Umgebung abhängig ist. Zehn Bedürfnisse wurden von BRACKE et al. (1999 b) definiert: Anreiz, sozialer Kontakt, Ausscheidungen, Bewegung, Sättigung, Gesundheit, Klima, Sicherheit, Komfortverhalten.

Die Projektgruppe stellte die Hypothese auf, dass die Lebensqualität der Tiere gut sei, wenn diese Bedürfnisse erfüllt sind. Um diesen Anspruch auf das Wohlbefinden der Tiere auf praxistaugliche Haltungsbedingungen anzuwenden, wurde eine Technik verwendet: der Methodische Entwurf nach KROONENBERG und SIERS (1998). Diese Technik unterscheidet folgende Phasen der Prozessplanung:

1. Problemanalyse, hier die Bedürfnisse der Tiere
2. Erstellung einer Liste von Anforderungen (GROENESTEIN et al., 2003)

3. Auflistung von Lösungsalternativen

4. Kombination der besten Lösungsansätze in einem integrierten Prozessentwurf

Für die beteiligten Interessengruppen war eine empirische Studie mit Beobachtungen der Tiere der vielversprechendste Weg, die aus der Theorie abgeleiteten Annahmen zu belegen. Diese Forschung wurde „Proof of Principles Studie“ genannt. Das zweite Ziel war es, Daten zur Anzahl und zum Niveau der in dem Haltungssystem eingesetzten Ausstattungsgegenstände zu bekommen, z.B. dem Flächenbedarf. Hauptfragen in der Machbarkeitsstudie waren:

1. Kann der Anspruch auf ein gesteigertes Wohlbefinden der Tiere im „Comfort Class“-Haltungssystem durch empirische Beobachtungen der Tiere bestätigt werden?
2. Sind Anzahl und Niveau der angebotenen Ausstattungsgegenstände an die Bedürfnisse der Tiere angepasst?

2 Verfahren

Durch die beteiligten Partner wurde eine Versuchsanlage entworfen und gebaut, die der Liste von Anforderungen (GROENESTEIN et al., 2003) entsprach und die die Klärung der Forschungsfragen ermöglicht. Diese gemeinsam entworfene Pilotanlage enthält 3 Blöcke mit je 4 Buchten, welche nach Wunsch kombiniert werden können, um verschiedene Gruppengrößen zu bilden. Jede Bucht hat ein 1,0 m hohes, überdachtes und eingestreutes Liegebereich mit einer Grundfläche von 2,0 x 3,8 m. Dieser Ruhebereich ist durch semi-transparente Plastikklappen vom Aktivitätsbereich mit 4,0 x 3,8 m abgetrennt. Der Aktivitätsbereich hat einen planbefestigten Boden. Der dritte Buchtenbereich ist ein um 0,2 m erhöhter Kotbereich mit einem 2,0 x 3,8 m abmessenden Betonspaltenboden. An der Mitte der langen Außenseite der Bucht sind 2 Futterautomaten mit 3 Fressplätzen eingebaut und gegenüber an der Innenseite, angrenzend an die Nebenbucht, ein Trog mit Wühlmaterial. Alle vier Buchten grenzen im Kotbereich, getrennt durch eine Gitterwand, aneinander an. Den Anforderungen der Liste folgend, wurden pro Tier 2,4 m² eingeplant, um ausreichend Fläche für verschiedene Aktivitäten anbieten zu können. Die verschiedenen Funktionsbereiche sind deutlich voneinander getrennt und ermöglichen synchronisiertes Verhalten. Das Gebäude wird mit einer automatischen Steuerung natürlich gelüftet. Durch diesen Aufbau (Abb. 1) sollten die Bedürfnisse der Tiere gedeckt sein:

- Anreize: Stroh, verschiedenes Aussehen und unterschiedliche Bodenstruktur in jedem Bereich sowie ein Wühltrog mit frischem Material
- Soziale Kontakte: Tiere können Aktivitäts- und Ruhephasen synchronisieren
- Ruhe: separater, eingestreuter und warmer Liegebereich, 0,6 m³ pro Tier
- Exkretion: separate, rutschfeste Fläche mit 2 Ecken, 0,6 m² pro Tier, mit minimalem Abstand von 4 m zum Liegebereich
- Bewegung: gesamter Bereich, inklusive Möglichkeit zum Fressen und Wühlen, von 1,9 bis 2,4 m² pro Tier, abhängig von der Anzahl der Tiere in der Bucht
- Sättigung: Ad-libitum Fütterung an 6 nebeneinander aufgestellten Fressplätzen
- Gesundheit: Konventionelle Gesundheitsprotokolle (IKB Varken, 2008)

- Thermokomfort: Durch den überdachten Liegebereich und die komplexe Buchtenstruktur können die Tiere zwischen verschiedenen Temperaturzonen wählen, im Kotbereich (25 °C) wird 2-mal pro Stunde ein Sprinkler für 20 Sekunden eingeschaltet
- Sicherheit: Tiere werden in festen Gruppen gehalten, die komplexe Buchtenstruktur gibt den Tieren die Möglichkeit, Aggressionen auszuweichen
- Komfortverhalten: ein Scheuermast ist an eine Buchtenwand montiert

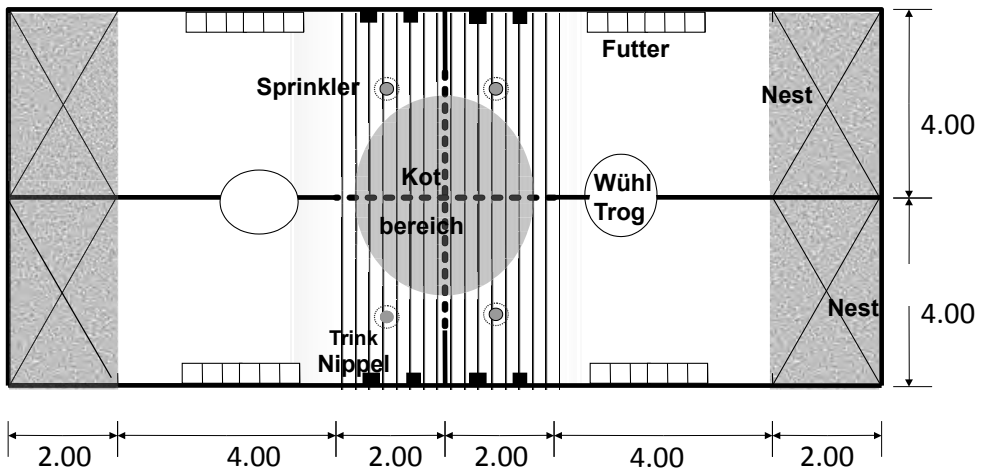


Abb. 1: Aufbau mit 4 Buchten, welche nach Wunsch variiert werden können, um Buchten für 12, 24 oder 48 Mastschweine zu erhalten

Fig. 1: Layout with cluster of 4 pens which could be combined at wish to house 12, 24 or 48 fatteners

In zwei Durchgängen wurden 144 kommerzielle Hybridferkel mit nicht kupierten Schwänzen und einem durchschnittlichen Gewicht von 28,6 kg eingestallt. Die Schweine wurden in Buchten zu 12, 24 oder 48 Tieren gehalten, woraus sich eine Fläche von 2,3 m², 2,0 m² und 1,9 m² pro Tier ergibt. Weil nicht erwartet wurde, dass alle Tiere gleichzeitig aktiv sind, war in den größeren Buchten die Fläche pro Tier in der Aktivitätszone relativ kleiner. Die Tiere wurden ad libitum gefüttert. Täglich wurde der planbefestigte Teil des Bodens gereinigt und frisches Heu in den Wühltrug gefüllt. Anzeichen von Schwanzbeißen wurde mit zusätzlichen Grassilagen und - im Notfall - Isolierung der Beißer entgegengewirkt.

Einmal wöchentlich wurden alle Verletzungen der Tiere durch einen Forscher anhand einer Checkliste nach ZONDERLAND et al. (2008) detailliert beurteilt. Bonitierungen der Schwänze wurden dokumentiert als Intakt, Bisspunkte und offene Wunde. Die Hautbeschädigungen wurden nach ihrem Auftreten auf dem Vorder-, Mittel- und Hinterteil der Tiere sowie der Intensität auf einer Skala von 0 bis 5 bewertet: 1 = oberflächliche Kratzer, 2 = tiefere dunkle Kratzer, 3 = Kratzer mit Blut, 4 = tiefe verblutete Wunde, 5 = ernsthafte Wunde.

Mittels Videobeobachtungen wurde an 4 Tagen verteilt über die Mast synchronisiertes Verhalten, wie Liegen und Fressen, überwacht.

3 Ergebnisse

Der erste Durchgang wurde mit 100 % unversehrten Schwänzen begonnen. In 5 Buchten wurden kaum Schwanzbeschädigungen beobachtet (Abb. 2). In 2 Buchten, je mit 12 Tieren, wurden während der Mastzeit Verletzungen beschrieben, in einer Bucht 5,3 % und in der anderen 21,2 % offene Wunden. Am Ende des Durchgangs waren alle Wunden wieder verheilt. Im 2. Durchgang wurden Tiere aus einem Ferkelstall mit einem akuten Ausbruch von Schwanzbeißen eingesetzt. Am Anfang hatten 64,1 % der Tiere frische Beschädigungen, 15,8 % Bisswunden und 48,3 % offene Wunden. Bei den folgenden Beobachtungsterminen konnte stets eine Verbesserung dieser Situation festgestellt werden. Am Ende hatten 97,2 % keine Beschädigungen mehr.

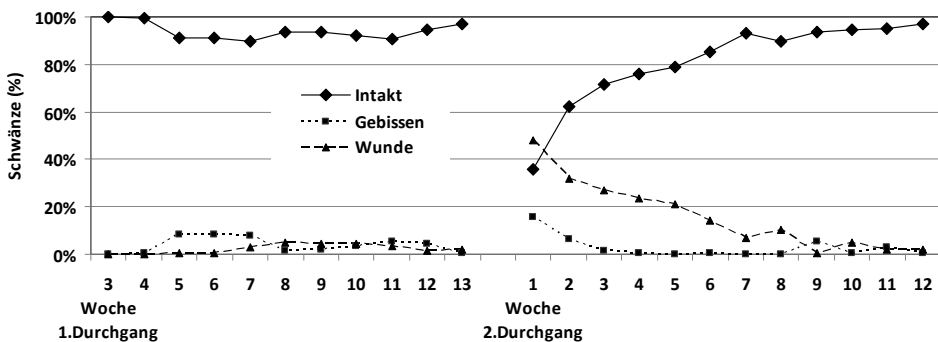


Abb. 2: Anteil intakter Schwänze, Schwänze mit Bißwunden und Schwänze mit offenen Wunden, in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen

Fig. 2: Tail scores of intact tails, tails with bite wounds and open wounds as a function of time (weekly observations on all animals) in two batches of growing-finishing pigs. Batch 1: clean start; Batch 2: start with a high incidence from a recent outbreak in the nursery

Während des ersten Durchgangs wurden in 95,5 % der Beobachtungen keine (Score 0) oder wenige oberflächliche Kratzer (Score 1) an der Haut festgestellt (Abb. 3). Zu Beginn des 2. Durchgangs blieben die Hautverletzungen am Mittel- und Hinterteil der Tiere stabil zwischen 0,5 und 1. Am Vorderteil erhöhte sich der durchschnittliche Score und erreichte am Ende der Mast 1,5. Nach der 8. Mastwoche hatten 50 % der Tiere Kratzer mit Blut (Score 3) am Vorderteil. Schwerere Verletzungen wurden zu keinem Zeitpunkt festgestellt.

Durchschnittlich waren 85 % der Tiere inaktiv. Die durchschnittliche 24-Stunden-Aktivität lag entsprechend der Gruppen mit 12, 24 und 48 Tieren bei 15 %, 12 % und 14 %. Der Aktivitätsverlauf der Tiere über den Tag war in allen 3 Verfahren gleich. Die Aktivitätszeiten folgten einem klassischen Morgen-Abend-Verlauf, ohne deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Tagen während der Mast. Etwa 20 % der Tiere waren während der Tageslichtphasen aktiv und 3 % im Dunkeln. Das Liegeverhalten war in beiden Durchgängen, Verfahren und Mastwochen sehr synchron. Außerhalb der

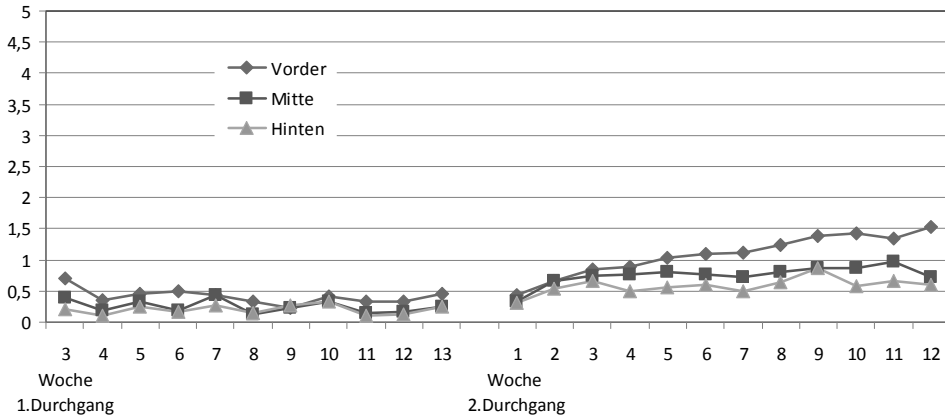


Abb. 3: Durchschnittlicher Score von Hautbeschädigungen am Vorder-, Mittel- und Hinterteil der Tiere in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen

Fig. 3: Average skin injury score as a function of time (weekly observations on all animals) in two batches of growing-finishing pigs

Nester lagen in 47 % der Beobachtungen 2 Tiere, in 19 % 3 Tiere und in 11 % 4 Tiere nebeneinander.

In 70 % der Beobachtungszeiten hatten keine Tiere gefressen. In 58 % der Fälle wurden Einzeltiere beim Fressen beobachtet. Statt der erwarteten Gleichverteilung der Tiere auf alle Fressplätze, wurden Tiere deutlich öfter direkt nebeneinander fressend beobachtet.

4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse geben keinen Hinweis darauf, dass das Wohlbefinden der Tiere durch fehlende Buchtenausstattung eingeschränkt war und unterstützen somit die theoretische Erwartung, dass die angebotenen Flächen pro Tier für alle synchronisiert oder individuell gezeigte Verhaltensweisen ausreichend waren.

Die Entscheidung Tiere mit nicht kupierten Schwänzen einzusetzen, hat es ermöglicht zu zeigen, dass, obwohl Schwanzbeißen hier nicht abwesend ist, es dennoch möglich ist in einer großen und impulsreichen Bucht mit Stroheinstreu im Nest, Schweine mit unkupten Schwänzen zu mästen. Die systematische Lösung des auf die Schwänze gerichteten Verhaltens in den Problemgruppen widerspricht der Auffassung, Schwanzbeißen sei eine Epidemie. Das Entstehen von Schwanzbeißen kann als Ausdruck von Frustrationen interpretiert werden, welche in ihrer Anpassungsfähigkeit bereits überlastete Tiere nicht mehr kompensieren können.

Die wissenschaftlichen Aktivitäten bestätigen die Ambitionen der Interessengemeinschaften und unterstreichen ihren Anspruch auf die Möglichkeit der praktischen Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung des Wohlbefindens von Masttieren. In dem Projekt wurden weitere Experimente und Abläufe unter Praxisbedingungen umgesetzt,

dadurch konnte der Flächenbedarf und der Einsatz von verwurzelttem Material in herkömmlichen Mastsystemen weiter erprobt werden. Die NGO nutzten diese Erfahrungen, um das „Beter Leven“ (Besseres Leben)–Gütesiegel zu entwickeln, das eine verbesserte Lebensqualität von Nutztieren signalisiert. Eine aktuelle Initiative eines Fleischverarbeiters und eines Einzelhandelsunternehmens wurde anhand dieses Gütesiegels erstellt und mit der „Ein-Stern-Anerkennung“ ausgezeichnet. Es wird erwartet, dass bis Ende 2012 mehr als eine Millionen Schweine von den verbesserten Haltungsbedingungen profitieren. Das System hat das Potenzial, einen Minimalanspruch an die Qualität von frischem Schweinefleisch in Supermärkten vorzugeben.

Danksagungen

Die Autoren danken dem „Comfort Class“-Konsortium (geführt durch LTO und Dierenbescherming) und den Landwirten der Innovationsgruppe sehr für die Möglichkeit zur Forschung, der Zusammenarbeit und Beratung. Ein großer Teil dieser Arbeit wurde durch das Niederländische Ministerium für Wirtschaft, Landwirtschaft und Innovation, innerhalb der Programme BO-414, BO-434 und „Innovatieregeling“ finanziell unterstützt. Zusätzliche Unterstützung wurde durch das KB7-Programm „Transitiekennis en -kunde (KB-07-008-001)“ geleistet. Der Beitrag von WIM HOUWERS wird durch das EU FP7 MARIE-CURIE-Forschungsprojekt „Quarisma“ unterstützt.

Diese Präsentation ist zusammengestellt aus der Publikation von DE GREEF et al. (2011)

Literatur

- Bracke, M. B. M.; Spruijt, B. M.; Metz, J. H. M. (1999 a): Overall welfare assessment reviewed. Part 1: Is it possible? *Neth. J. Agric. Sci.* 47, 279–291
- Bracke, M. B. M.; Spruijt, B. M.; Metz, J. H. M. (1999 b): Overall welfare reviewed. Part 3: Welfare assessment based on needs and supported by expert opinion. *Neth. J. Agric. Sci.* 47, 307–322
- EFSA (2007): Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission on Animal health and welfare in fattening pigs in relation to housing and husbandry. *EFSA J.* 564, 1–14
- Greef, K. H. de; Vermeer, H. M.; Houwers, H. W. J.; Bos, A. P. (2011): Proof of Principle of the Comfort Class concept in pigs. Experimenting in the midst of a stakeholder process on pig welfare. *Livestock Production Science.* (accepted)
- Grin J.; van Staveren, A. (2006): Werken aan systeeminnovaties. Lessen uit de praktijk van innovatienetwerk [Working on systems innovations. Lessons from the practice of the innovation network]. Assen Van Gorcum

- Groenestein C. M.; Schouten, W. G. P.; de Greef, K. H.; ten Hoop, R. G.; de Jong, M. (2003): Diergericht ontwerpen. Methodisch in plaats van intuïtief naar een ontwerp voor een diervriendelijk houderijsysteem. [Animal oriented design. Structured instead of intuitive design of an animal friendly husbandry system], Wageningen UR-Report IMAG2003-06
- IKB Varken (2008): http://www.ikbvarken.nl/nl_NL/index.html, Zugriff am 6. Juni 2011
- Kroonenberg H. H. van den; Siers, F. J. (1998): Methodisch ontwerpen [structured design], Groningen, Noordhoff Uitgevers B.V.
- Smits, R.; Kuhlmann, S. (2004): The rise of systematic instruments in innovation policy. *International J. Foresight Innov. Policy* 1, 4–32
- Varkensbesluit (1994): Besluit van 7 juli 1994, houdende regelen ter zake van het houden en huisvesten van varkens. <http://wetten.overheid.nl/>, Zugriff am 6. Juni 2011
- Zonderland, J. J.; Wolthuis-Fillerup, M.; van Reenen, C. G.; Bracke, M. B. M.; Kemp, B.; den Hartog, L. A.; Spoolder, H. A. M. (2008): Prevention and treatment of tail biting in weaned piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 110, 269–281

GELAS: Gruppenhaltung mit Einzelbuchtsteuerung für laktierende Sauen – Auswirkungen auf die Leistung, Gesundheit und Futteraufnahme

GELAS: Group housing of lactating sows with electronically controlled crates – Effects on reproductive traits, health and feed intake

ANNA-LENA BOHNENKAMP¹, IMKE TRAULSEN¹, CHRISTIAN MEYER², KARIN MÜLLER², JOACHIM KRIETER¹

¹ Institut für Tierzucht und Tierhaltung, CAU, Ohlshausenstr. 40, 24098 Kiel

² Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp, LWK Schleswig-Holstein, Gutshof 1, 24327 Blekendorf

Schlüsselwörter: Kastenstand, Freilauf, Ferkelverluste, Absetzgewichte, Konditionszustand

Keywords: farrowing crate, running area, piglet losses, weaning weights, body condition score

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Gruppenhaltungssystem mit zugeordneter Einzelbucht (GH) für laktierende Sauen hinsichtlich Wurfleistung, Futteraufnahme und Konditionszustand mit der konventionellen Einzelhaltung (EH) verglichen. Die Sauen in der GH konnten sich mit Ausnahme des Geburtszeitpunktes in ihrer Einzelbucht mit Kastenstand oder dem gemeinsamen Freilaufbereich (13 m²) für sechs Sauen aufhalten. Es wurden insgesamt 124 Sauen in beiden Haltungssystemen ausgewertet. Die Wurfleistungen in der GH und EH zeigten mit Ausnahme der Absetzgewichte keine signifikant unterschiedlichen Ergebnisse (GH: 7,7 kg vs. EH: 8,3 kg; $p < 0,05$). Die tägliche Futteraufnahme während der Laktation war bei GH-Sauen mit 6,4 kg im Vergleich zu den EH-Sauen mit 6,1 kg tendenziell ($p = 0,0584$) um 300 g erhöht. Die unterschiedliche Veränderung der Körperkondition von Sauen aus GH und EH im Laufe der Laktation konnte durch die Abnahme der Rückenspeckdicke nicht bestätigt werden (GH: -3,8 mm vs. EH: -3,7 mm). Nach dem Abferkeln verbrachten GH-Sauen 22,5 Stunden pro Tag freiwillig im Kastenstand. Die Aufenthaltszeit im Kastenstand sank täglich bis zum elften Laktationstag auf 10,9 Stunden pro Tag.

Summary

In the present study a group housing system of lactating sows with electronically controlled crates (GH) was compared with conventional single housing (EH) concerning reproductive traits, feed intake and body condition. GH-sows could move between their single pens with crate and a shared running area (13 m²) for six sows except the time of birth. Totally 124 sows were evaluated in both farrowing systems. The reproductive traits in the GH and EH did not differ significantly with exception of the weaning weights (GH: 7.7 kg vs. EH: 8.3 kg). During lactation the daily feed intake of GH-sows varied ($p = 0.0584$) with 300 g compared to the EH-sows (GH: 6.4 kg vs. EH: 6.1 kg). Different variances of body condition of GH- and SH-sows during lactation could not be verified

with the variances of back fat (GH: -3.8 mm vs. EH: -3.7 mm). After farrowing the sows spent 22.5 hours per day in their crates voluntary. The duration of staying in the farrowing crates decreased daily until eleven days post partum on 10.9 hours per day.

1 Einleitung

Die Übergangsfrist tragende Sauen einzeln in Kastenständen zu halten endet 2013 (BUNDESGESETZBLATT, 2006). Die geltende Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung sieht vor, tragende Sauen vier Wochen nach der Belegung bis eine Woche vor dem Abferkeln in Gruppen zu halten (BUNDESGESETZBLATT, 2006) und spiegelt die Weiterentwicklung von Haltungssystemen für die moderne Nutztierhaltung wider. Der Grundgedanke mehr Sozialkontakte und Bewegungsfreiheit in Anlehnung an die natürlichen Verhaltensweisen zu ermöglichen (JENSEN und REDBO, 1987) hat unter anderem zur Gestaltung verschiedener Bewegungsbuchten im Abferkelstall geführt. ZIRON (2008) hat ferkelerzeugende Spitzenbetriebe in Deutschland nach deren gegenwärtigen Aufstallungssystemen in den einzelnen Produktionsbereichen befragt. Im Wartebereich hatten 53 % der Betriebe Gruppenhaltungssysteme für tragende Sauen, im Deckbereich 6 % und keiner der befragten Betriebe hielt Sauen im Abferkelbereich in Gruppen (ZIRON, 2008). Die Gründe für eine konventionelle Einzelhaltung im Abferkelstall liegen in der Nutzung des Kastenstandes (Erdrückungsschutz, Arbeitsschutz), in der Übersicht bei der Tierkontrolle und der individuellen Behandlung des Wurfes sowie im Platz- und Arbeitszeitbedarf pro Sau (CURTIS et al., 1997; LITTMANN et al., 1989).

In der vorliegenden Studie wurde für laktierende Sauen ein Gruppenhaltungssystem mit zugeordneter Einzelbucht umgesetzt. Ziel dieser Untersuchung war es, die Leistung und Gesundheit laktierender Sauen in einem Gruppenhaltungssystem (GH), das die Vorteile der Einzelbucht beinhaltet und die Bewegungsfreiheit erhöht, mit der konventionellen Einzelhaltung (EH) unter Praxisbedingungen zu vergleichen.

2 Material und Methoden

Der Versuch wurde im Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp im Zeitraum von März 2009 bis August 2010 durchgeführt. In der Gruppenhaltung standen sechs Einzelbuchten mit 4,7 m² zur Verfügung, die durch eine elektronisch gesteuerte Tür und einen 13 m² großen Freilaufbereich erweitert wurden (Abb. 1). Mit Ausnahme des Geburtszeitraumes, drei Tage ante partum bis einen Tag post partum (p.p.), konnten die Sauen sich wahlweise in den zugeordneten Einzelbuchten oder im Freilaufbereich aufhalten. Eine bewegliche Türschwelle hinderte die Ferkel in den ersten fünf Lebenstagen am Verlassen der Einzelbucht und ermöglichte den Sauen den rückwärtigen Austritt in den Freilauf. Die Buchten der EH hatten eine Grundfläche von 5,2 m².

In dem Versuch wurden 143 Kreuzungssauen von zwei verschiedenen Herkünften einbezogen, die während der Tragezeit in einer dynamischen Großgruppe mit Abruffütterung gehalten wurden. In zwölf Durchgängen wurden jeweils sechs Sauen eine Woche vor der Geburt in der Gruppen- und Einzelhaltung aufgestellt. Die Sauen wurden nach

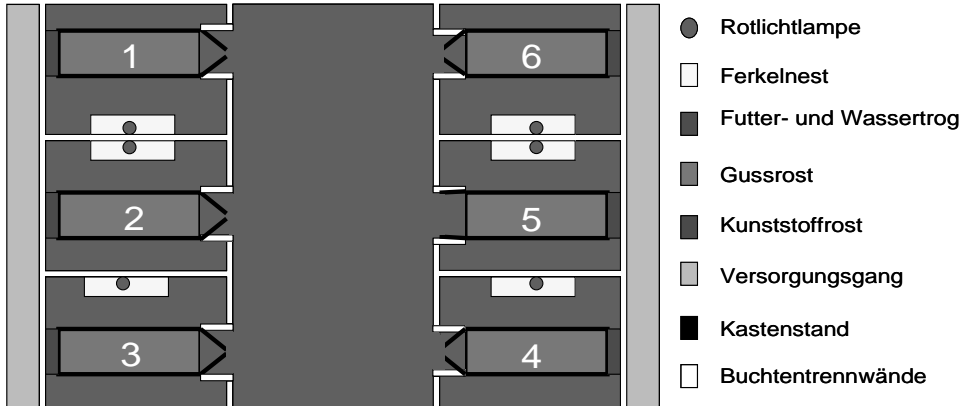


Abb. 1: Schematische Übersicht: Gruppenhaltungssystem mit sechs Einzelbuchten

Fig. 1: Scheme: group housing system with six single pens

durchschnittlich 26 Laktationstagen abgesetzt. Der erste Durchgang diente der Optimierung der elektronischen Buchteneinstellungen sowie der Freilaufzeiten für die Sauen und wird in der nachfolgenden Auswertung nicht einbezogen. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurden vier Sauen als Ammen eingesetzt und drei Sauen verendeten während der Laktation. Sie erfüllten damit nicht die Versuchsbedingungen und blieben bei der Auswertung unberücksichtigt.

Neben den gängigen Leistungsparametern wurden die Futtermaufnahme, Körperkondition (BCS), Rückenspeckdicke und das Verhalten von Sauen erfasst. Die Futtermaufnahme wurde in der GH und EH für jeden Tag einzeln erfasst und in Abhängigkeit von der vorgegeben Futterkurve ausgewertet. Die Körperkondition wurde mit BCS-Noten von 1 für sehr dünn bis 5 für sehr dick in Viertelstufen bewertet. Die Rückenspeckdicke wurde an drei Punkten fünf Zentimeter seitlich der Medianlinie mittels Ultraschall (Agro Scan, Hauptner & Heberholz) gemessen. Bei der Körperkondition und Rückenspeckdicke wurde die Veränderung zwischen Ein- und Ausställen nach durchschnittlich 26 Laktationstagen berechnet. Vorzeitig abgesetzte Sauen (N=18) wurden nur beim Einstellen erfasst und sind in der Auswertung für Körperkondition und Rückenspeckdicke nicht enthalten. Werte mit negativen Vorzeichen spiegeln die Verringerung der Konditionsnote bzw. der Rückenspeckdicke wider.

Die Aufenthaltszeit der Sauen im Kastenstand wurde mittels Lichtschranken ab dem fünften Durchgang erfasst, die mit einem externen Zählwerk verbunden waren. Die Lichtschranken waren beidseitig am Kastenstand befestigt und erfassten die Sauen in liegender, sitzender und stehender Position im Kastenstand. Die Wurfleistung, Futtermaufnahme und Rückenspeckdicke wurden varianzanalytisch mit dem Programmpaket SAS 9.2 (Sas, 2010) ausgewertet. Jung- und Altsauen wurden getrennt beurteilt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Leistungsparameter

Die Wurfleistungen der Altsauen sind in Tabelle 1 abgebildet und unterschieden sich mit Ausnahme der signifikant niedrigeren Absetzgewichte in der Gruppenhaltung nicht voneinander (GH: 7,7 kg vs. EH: 8,3 kg). Die Ferkelabsetzgewichte von Jungsauen zeigten ähnliche Tendenzen (GH: 6,5 kg vs. EH 7,2 kg). Aufgrund der geringen Anzahl Jungsauen (N = 21) konnten die Ergebnisse nicht statistisch abgesichert werden. Als Ursachen für die unterschiedlichen Absetzgewichte werden Unruhe bei den Säugevorgängen und das Alter der Ferkel beim Zusammenstellen vermutet.

KUTZER (2009) verglich ein Gruppenhaltungssystem, Bewegungsbuchten (mit und ohne Ferkelschlupf) und Einzelbuchten (mit und ohne Ferkelschlupf) im Abferkelbereich miteinander. HESSEL et al. (2006) untersuchten Absetzgewichte von Ferkeln aus Einzelbuchten mit und ohne Ferkelschlupf. Beide Autoren stellten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Absetzgewichten bis zum 28. Lebenstag fest. In den Untersuchungen von KUTZER (2009) und HESSEL et al. (2006) wurden die Ferkel erst am zehnten bzw. zwölften Lebenstag zusammengestellt.

Tab. 1: Mittelwerte (LSM) und Standardfehler (SE) der untersuchten Merkmale von 103 Altsauen aus Gruppen- und Einzelhaltung (GH, EH)

Tab. 1: *Least Square Means (LSM) and standard error (SE) of the record trait from 103 group and single housed sows (GH, EH)*

Merkmal	GH (N = 51)		EH (N = 52)	
	LSM	(SE)	LSM	(SE)
Anzahl lebend geborener Ferkel/Wurf	13,8	(0,49)	14,0	(0,49)
Anzahl tot geborener Ferkel/Wurf	1,1	(0,05)	1,1	(0,06)
Anzahl mumifizierter Ferkel/Wurf	0,3	(0,31)	0,2	(0,35)
Geburtsgewicht/Ferkel (kg)	1,5	(0,04)	1,4	(0,04)
Anzahl versetzter Ferkel/Wurf	- 0,3	(0,39)	- 0,4	(0,39)
Anzahl gesamter Ferkelverluste/Wurf	2,0	(0,14)	2,1	(0,14)
Anzahl erdrückter Ferkel/Wurf	0,9	(0,19)	0,7	(0,21)
Anzahl abgesetzter Ferkel/Wurf	11,4	(0,15)	11,4	(0,15)
Absetzgewicht/Ferkel (kg)	7,7a ¹⁾	(0,13)	8,3b ²⁾	(0,13)
Tägliche Futtaufnahme (kg)	6,4	(0,09)	6,1	(0,09)

^{1), 2)} Werte unterscheiden sich signifikant (t-Test; p=0,05).

Die Gesamtferkelverluste lagen bei 13,7 % in der GH und 14,9 % in der EH. Ein erhöhter Anteil erdrückter Ferkel in der GH konnte statistisch nicht nachgewiesen werden. Insgesamt wurden in den elf ausgewerteten Durchgängen von 51 Sauen in der GH 65 Ferkel erdrückt (davon 12 im Freilauf).

Von 52 Sauen in der EH wurden 42 Ferkel erdrückt. Diese Ergebnisse konnten von WEBER et al. (2006) nur zum Teil bestätigt werden. Laut WEBER et al. (2006) sind die Ferkelverluste in Einzelbuchten mit und ohne Kastenstand nicht unterschiedlich, jedoch werden die Verlustursachen durch das Haltungssystem beeinflusst.

Von zwölf eingestellten Jungsauen in der GH wurden neun wegen Strichverletzungen durch die Ferkel vorzeitig abgesetzt, während es in der EH drei Jungsauen waren. Im Gegensatz zu den Altsauen ist das Gesäugegewebe bei den Jungsauen weicher, nicht an die Belastung durch die Säugevorgänge gewöhnt und dadurch anfälliger für Zitzenverletzungen.

3.2 Futteraufnahme

In der Gruppenhaltung wurden bei Altsauen während der Laktation mit einer täglichen Futteraufnahme von 6,4 kg tendenziell ($p=0,0584$) 300 g mehr Futter aufgenommen im Vergleich zur Einzelhaltung mit 6,1 kg. Der täglichen Futteraufnahme bei Jungsauen konnte mit 5,4 kg in der GH und 5,2 kg in der EH kein Einfluss nachgewiesen werden. Das Futteraufnahmevermögen der Jungsauen unterschied sich aufgrund ihrer körperlichen Entwicklung von dem der Altsauen. Der Laktationstag hatte einen signifikanten Einfluss ($p < 0,05$) auf die tägliche Futteraufnahme der Sauen (Abb. 2). In den ersten zwei Laktationsdritteln begrenzte die Futterkurve die freiwillige Futteraufnahme der Sauen. Im letzten Laktationsdrittel (ab 18. Laktationstag) überstieg die Futterkurve das maximale Futteraufnahmevermögen der Sauen. Die Tiere blieben mit 8,3 bis 8,5 kg Futter pro Tag unter der angebotenen Menge von 9,3 kg.

3.3 Körperkondition

In Abbildung 3 ist die Anzahl Sauen zu sehen, deren BCS nach 26 Tagen Säugezeit bewertet wurden. Der Anteil Sauen mit einer Abnahme der Körperkondition zwischen -2 bis -1 lag in der Gruppenhaltung mit 42,1 % höher im Vergleich zu Sauen aus der Einzelhaltung mit einem Anteil von 25 %. Entsprechend konnte in der GH mit 57,9 % einen niedriger Anteil Sauen festgestellt werden, der eine Veränderung von -1 bis 0,25 hatte (EH: 75 %).

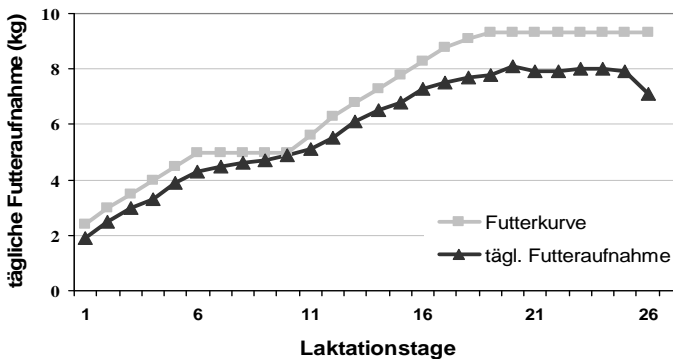


Abb. 2: Täglich aufgenommene Futtermenge (Altsauen) bei vorgegebener Futterkurve
 Fig. 2: Daily feed intake of sows in dependence of the feeding curve

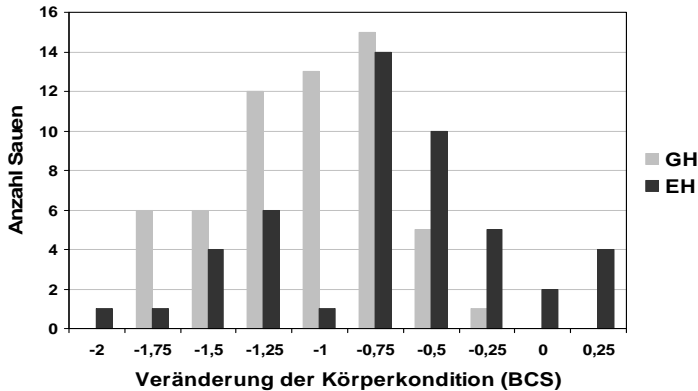


Abb. 3: Veränderung der Körperkonditionsnote während der Laktation

Fig. 3: Loss of body condition during lactation

Die Veränderung der Rückenspeckdicke von Altsauen (-3,8 mm GH vs. -3,7 mm EH) und Jungsaunen (-4,5 mm GH vs. -5,1 mm EH) war nicht signifikant ($p > 0,05$). Unabhängig vom Haltungssystem kann bei den Jungsaunen ein erhöhter Abbau der Rückenspeckdicke bemerkt werden. Dieser Unterschied weist auf das zusätzliche Energiedefizit der Jungsaunen gegenüber Altsauen hin, das sich durch den eigenen Wachstumsbedarf der Jungsau ergibt.

3.4 Aufenthalt der Sauen

Unmittelbar nach dem Abferkeln verbringen die Jung- und Altsauen 22,5 Stunden des Tages im Kastenstand bei den Ferkeln. Diese Dauer sinkt täglich nach dem Entfernen der Türschwellen von 20,1 Stunden pro Tag (fünf Tage p.p.) auf ein gleichmäßiges Niveau von 10,9 Stunden pro Tag (elf Tage p.p.). Diese Beobachtung stimmt mit Aussagen von JENSEN et al. (1987) überein, dass die Bindung zwischen Sauen und Ferkeln sich ab dem zehnten Tag p.p. lockert, die Ferkel ihr Nest verlassen und die Sau ihren Ruheplatz vom Ferkelnest entfernt.

In Abbildung 4 sind Unterschiede zwischen der Aufenthaltsdauer von Jung- und Altsauen im Kastenstand zu sehen. Die Altsauen nutzen den Freilaufbereich mit 12,1 Stunden pro Tag vor und nach der Fixierungszeit weniger intensiv im Vergleich zu den Jungsaunen mit 16 Stunden pro Tag. Die Ursache hierfür wird in der Ausbildung der Rangordnung gesehen. Die Altsauen werden vom zweiten bis zum achten Wurf aus einer dynamischen Großgruppe von ca. 200 Tieren zusammen in die Gruppenhaltung gestellt. Die Jungsaunen sind körperlich ähnlich entwickelt und werden in Gruppen von 40–50 Tieren im Wartestall gehalten.

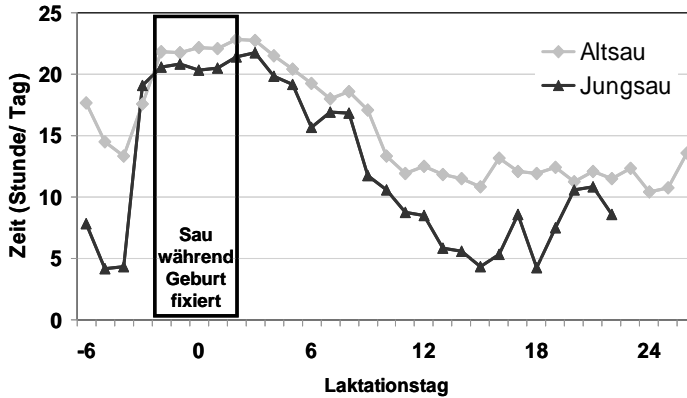


Abb. 4: Tägliche Aufenthaltsdauer der Sauen in Gruppenhaltung im Kastenstand

Fig. 4: Daily time of duration in the crate of sows in group housing

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), FKZ 2807UM005.

Literatur

- Bundesgesetzblatt (2006): Aktuelle Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung – Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung, Bundesgesetzblatt Teil 1 Nr. 41, ausgegeben zu Bonn am 31. August 2006
- Curtis, S. E.; Hurst, R. J.; Widowski, T. M.; Shanks, R. D.; Jensen, A. H.; Gonyou, H. W.; Bane, D. P.; Muehling, A. J.; Kesler, R. P. (1989): Effects of sow-crate design on health and performance of sows and piglets *J. Anim. Sci.* (67), 80–93
- Jensen, P.; Redbo, I. (1987): Behaviour during Nest Leaving in Free-Ranging Domestic Pigs, *Appl. Anim. Beh. Sci.* (18), 355–362
- Hessel, E. F.; Reiners, K.; Van den Weghe, H. F. A. (2006): Socializing piglets before weaning: Effects on behaviour of lactating sows, pre- and postweaning behaviour, and performance of piglets, *J. Anim. Sci.* (84), 2847–2855
- Kutzer, T. (2009): Untersuchung zum Einfluss einer frühzeitigen Kontaktmöglichkeit zwischen Ferkelwürfen auf Sozialverhalten, Gesundheit und Leistung, Dissertation; Justus-Liebig Universität in Gießen
- Littmann, E.; Süß, M.; Straub, K.; Reimann, T.; Schmidt, W.; Weiss, J. (1997): Praktische Sauenhaltung (Zucht, Management, Wirtschaftlichkeit), Verlags Union Agrar
- SAS 9.2 (2010): SAS Institute Inc. User's Guide (release 9.2), Cary, NC, USA
- Weber, R. K., N. M.; Fehr, M.; Horat, R. (2006): Ferkelverluste in Abferkelbuchten, FAT-Bericht Nr. 656, 1–8
- Ziron, Martin (2008): Technikeinsatz bei Spitzenbetrieben in der Schweineproduktion, Tagung Precision Pig Farming, KTBL, 30.09.-1.10.2008, Osnabrück, 100–105

Entwicklung eines mehrdimensionalen Bewertungssystems zur objektiven Bestimmung der Tiergerechtheit unter besonderer Berücksichtigung tierbezogener Kriterien und Indikatoren

Development of a multidimensional scoring system for an objective determination of animal welfare with special reference to animal related criteria and indicators

ANDREAS PELZER¹, OTTO KAUFMANN², HELMUT RICHTER³, EVA HAMPEL⁴

¹ Landwirtschaftskammer NRW

² Department für Nutzpflanzen und Tierwissenschaften, Humboldt Universität zu Berlin

³ Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil GmbH, Bochum

⁴ WiDi-Kontor Hamburg

Schlüsselwörter: Nutztierhaltung, Ethologie, Funktionsbereich Ruhen, Methode, Bewertungsrahmen, Tiergerechtheit, Kriterien, Indikatoren, Verhalten, Milchkühe, Produktionstechnik
 Keywords: *behavioral science, animal welfare, criterias, indicators, dairy cows*

Zusammenfassung

Aspekte der vergleichenden Verhaltensforschung haben in der Nutztierforschung an Bedeutung gewonnen.

Vor diesem Hintergrund sollte eine Bewertungsmatrix zur objektiven Bestimmung der Tiergerechtheit von Funktionsbereichen in der Nutztierhaltung entwickelt werden.

Wir dokumentieren hier die Anwendung einer mehrdimensionalen Matrix in einer Interventionsstudie zur Entwicklung des Funktionsbereiches Ruhen von der freien Liegefläche hin zu einem komplexen Liegeboxensystem.

Summary

The ethological aspects of livestock research have become increasingly important in recent years. Taking this into consideration a method should be developed to objectively evaluate animal welfare. This is to document the application of a multidimensional matrix in an interventional study. The development from an open lying surface into a complex system of cubicles was implemented by using this evaluation system, as part of an interventional study with seven investigation steps.

1 Einleitung

Ethologische Aspekte haben in den letzten Jahren in der Nutztierforschung an Bedeutung gewonnen. Immer häufiger werden auch qualitative Kriterien und tierbezogene Indikatoren in die Bewertung von Haltung, Technik und Management mit einbezogen. Eine Zusammenfassung von tierbezogenen Indikatoren in ein einheitliches Erhebungsprotokoll ist bislang nur ansatzweise erfolgt (WHAY et al., 2003), und viele Untersuchungen beschränken sich auf Teilgebiete (HÖRNING, 2003; WILLEN 2004).

Ziel dieser Arbeit war die Zusammenstellung von quantifizierbaren Kriterien und tierbezogenen Indikatoren zur ganzheitlichen Betrachtung von Funktionsbereichen mit Richt-, Ziel- und Vergleichswerten und die Entwicklung und Evaluierung einer Methode zur objektiven Bestimmung der Tiergerechtigkeit – hier im Funktionsbereich Ruhen – mit Hilfe eines mehrdimensionalen Bewertungssystems.

2 Material und Methode

In einer mehrphasigen Interventionsstudie wurde untersucht, wie tierbezogene Kriterien und Indikatoren bei der Entwicklung eines Liege- und Ruheraums für Milchkühe zu einer tiergerechten Lösung führen.

Der zeitliche Ablauf der Gesamtstudie, die übergeordneten Ziele sowie die Struktur der einzelnen Phasen sind der Abbildung 1 zu entnehmen.

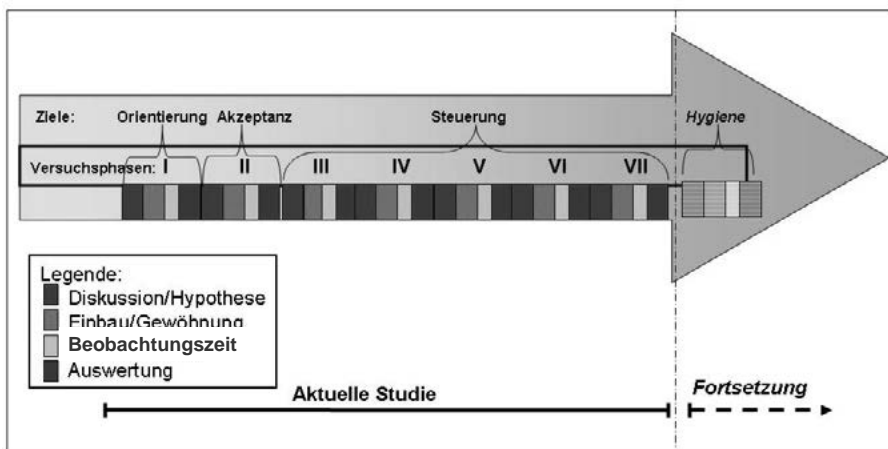


Abb. 1: Versuchsaufbau und Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Interventionsstudie

Fig. 1: Design and flow of the intervention study

Zunächst sollten sich in einer Orientierungsphase die Versuchstiere und das Versuchsteam mit der Haltungsumwelt vertraut machen. In der anschließenden Akzeptanzphase sollten die Tiere den vorgesehenen Funktionsbereich „Ruhem“ nutzen und die beobachtbaren Verhaltensparameter als Normalverhalten in der ihnen vertrauten Umwelt abbilden. Es folgten verschiedene Steuerungsphasen. Die Auswertung der beobachteten

Verhaltensweisen sollte zu Verbesserungsvorschlägen der Haltungstechnik mit dem Ziel einer effizienten Ausnutzung der Liegefläche führen. Jede Versuchsphase gliederte sich in vier Abschnitte:

- Fachdiskussion der Expertengruppe mit der Einigung auf eine Hypothese (= Verbesserungsmöglichkeit)
- Umsetzung des Einbaus mit einer Eingewöhnungszeit von 168 h
- Beobachtungsphase von 72 h mit systematischer Erfassung der 21 definierten Verhaltensweisen (time-lapse recording)
- Auswertung der Daten anhand der Bewertungsmatrix sowie Übernahme in die grafische Nutzwertanalyse

Tab. 1: Bewertungsmatrix/Tab. 1: score matrix

Verhaltenskriterium	Indikator	Zielwert	Richtwert	Grenzwert	Unerwünschte Abweichung	
		++	+	0	-	--
Akzeptanz	Liegedauer [h/24 h]	12	11-12	10-11	9-10	< 9
	Dauer: Liegeperiode [Minuten/24 h]	80-100	65-79 100-114	50-64 115-129	35-49 130-144	< 35 > 145
	Körperkontaktfläche auf Liegefläche > 80 % [%]	100 = alle Beobachtungen	95-99	90-94	85-89	< 84
Bewegung	Dauer: Absicht – Liegen Anteil < 60 s [%]	> 95	90-95	85-89	80-84	< 80
	Abliegen: flüssiger Bewegungsablauf (Kontakt an Stalleinrichtung)	ohne Kontakt	Berührung	Kontakt	Druck	hoher Druck
	Aufstehen: flüssiger Bewegungsablauf (Kontakt an Stalleinrichtung)	ohne Kontakt	Berührung	Kontakt	Druck	hoher Druck
	Dauer: Stehen – Verlassen Anteil < 60 s [%]	> 95	90-95	80-89	70-79	< 70
	Dauer: Stehen mit 4 Beinen in Box 24 h [Minuten/24 h]	< 90	90-99	100-110	110-120	> 120
	Dauer: Stehen mit 2 Beinen in Box 24 h [Minuten/24 h]	< 10	10-20	21-30	31-40	> 40
Liegepositionen	Anteil der Beobachtungen Brustlage [%]	42	< 50	50-60	60-70	> 70
	gestrecktes Vorderbein [%]	21	> 15	10-15	5-10	< 5
	gestrecktes Hinterbein [%]	22	> 15	10-15	8-10	< 8
	totale Seitenlage [%]	7	> 5	2-5	1	0
	Schlafposition [%]	8	> 5	2-5	1	0
Soziale Aspekte	Verdrängung: Box verlassen [Anzahl Beobachtungen]	wenn in 24 h nicht aufgetreten	< 1	1-2	3-4	> 4
Hygiene	Dauer: Abkoten nach dem Aufstehen [sek.]	> 90	> 60	55-60	30-55	< 30
	Abkoten im Liegen [Anzahl Beobachtungen]	wenn in 24 h nicht aufgetreten		1		2

An vier hochtragenden Rindern wurden 21 definierte Verhaltensweisen beobachtet, und die Ergebnisse anhand der von uns entwickelten Matrix mit vorgegebenen Grenz- und Zielwerten auf Basis von Werten aus der Literatur und aus eigenen Untersuchungen bewertet. Eine Forschergruppe diskutierte die Bewertungen und formulierte die technischen Anpassungen für den nächsten Versuchsdurchgang. Zum Zweck der Methodenentwicklung war diese Expertengruppe interdisziplinär aus den Bereichen der Nutztierwissenschaften, der Psychologie und der Statistik sowie Mitarbeitern aus der Industrie zusammengesetzt. Die Definitionen der einzelnen Bewertungsstufen sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Definition der Bewertungsstufen/Tab. 2: Score definition

	Bewertung	Beschreibung
Zielwert	++	optimal nach bisherigen Erkenntnissen, es wird keine weitere Verbesserung angestrebt
Richtwert	+	bedeutsamer Effekt erreicht, weitere Optimierung möglich
Grenzwert	0	muss mindestens erreicht werden, als Wert noch akzeptabel
Unerwünschte Abweichung	-	Intervention erforderlich
Unerwünschte Abweichung	--	dringendes Handeln ist angesagt, je nach Kriterium starker Einfluss auf Tiergerechtigkeit

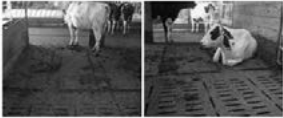


Orientierungsphase			Steuerungsphase III					Steuerungsphase IV												
Kriterium	Bewertung					Kriterium	Bewertung					Kriterium	Bewertung							
	++	+	0	-	--		++	+	0	-	--		++	+	0	-	--			
Akzeptanz	Liegenlassen				X	Akzeptanz	Liegenlassen				X	Akzeptanz	Liegenlassen				X			
	Liegeperiode		X				Liegeperiode	Liegeperiode	X					Liegeperiode	Liegeperiode		X			
	Kontaktfläche				X			Kontaktfläche	Kontaktfläche						X	Kontaktfläche	Kontaktfläche			X
Bewegung	Bauer Ablegen		X			Bewegung			Bauer Ablegen				X		Bewegung		Bauer Ablegen		X	
	Kontakt Ablegen	X					Kontakt Ablegen		Kontakt Ablegen				X	Kontakt Ablegen			Kontakt Ablegen	X	X	
	Kontakt Aufheben	X						Kontakt Aufheben	Kontakt Aufheben	X						Kontakt Aufheben	Kontakt Aufheben		X	
	Bauer Vorlassen		X						Bauer Vorlassen	Bauer Vorlassen							X	Bauer Vorlassen	Bauer Vorlassen	
	Stand mit vier Beinen	X					Stand mit vier Beinen	Stand mit vier Beinen		X				Stand mit vier Beinen		Stand mit vier Beinen	X		X	
Stand mit zwei Beinen			X		Stand mit zwei Beinen	Stand mit zwei Beinen					X	Stand mit zwei Beinen	Stand mit zwei Beinen		X					
Liegepositionen	Breitefüße					X	Liegepositionen	Breitefüße					X	Liegepositionen	Breitefüße			X		
	Streckung Vorderbein				X	Streckung Vorderbein		Streckung Vorderbein				X	Streckung Vorderbein		Streckung Vorderbein			X		
	Streckung Hinterbein	X						Streckung Hinterbein	Streckung Hinterbein						X	Streckung Hinterbein	Streckung Hinterbein	X		
	Totale Seitenlage		X			Totale Seitenlage			Totale Seitenlage				X		Totale Seitenlage		Totale Seitenlage			X
Schlagposition		X			Schlagposition		Schlagposition	X				Schlagposition	Schlagposition	X						
Soziale Aspekte	Verdrängung	X					Soziale Aspekte	Verdrängung					X	Soziale Aspekte	Verdrängung	X				
Eingesetzte Steuerungseinrichtungen:																				
<ul style="list-style-type: none"> - EVA Matte - kein Gefälle - keine Seitenbegrenzung - keine Frontbegrenzung - keine Kotkante 			<ul style="list-style-type: none"> - Stark verformbare Sandwichmatte - Gefälle 1% - Seitenbegrenzung (80x20x25) - keine Frontbegrenzung - keine Kotkante 					<ul style="list-style-type: none"> - Stark verformbare Sandwichmatte - Gefälle 1% - Seitenbegrenzung (150x12x8) - keine Frontbegrenzung - keine Kotkante 												
																				

Abb. 2: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse am Beispiel ausgewählter Phasen
Fig. 2: Study overview exemplary of selected phases

Zur effizienten Diskussion wurden die Bewertungen der einzelnen Versuchsphasen jeweils auch grafisch aufbereitet (Abb. 2). Auf diese Weise war es den Beteiligten möglich, die Ergebnisse für die einzelnen Kriterien schnell zu erfassen und den aktuellen Stand der Untersuchung zu bewerten. Beim Vergleich der grafischen Darstellung im Zeitablauf über die verschiedenen Steuerungsphasen konnten Entwicklungsprozesse der einzelnen Untersuchungsschritte leicht nachvollzogen werden.

3 Ausgewählte Ergebnisse

3.1 Bewertung der Methodik

Im Rahmen unserer Studie sollte eine Methode zur objektiven Bestimmung der Tiergerechtigkeit anhand tierbezogener Kriterien und Indikatoren entwickelt und überprüft werden. Das hierfür entwickelte mehrdimensionale Bewertungssystem konnte im Rahmen einer Interventionsstudie in sieben Untersuchungsschritten (von der freien Liegefläche hin zu einem komplexen Liegeboxensystem) umgesetzt werden.

Die gewählten Kriterien und Indikatoren sowie die Umsetzung der Ergebnisse in einer grafischen Darstellung ermöglichte es allen Beteiligten, die komplexen Zusammenhänge zu erfassen, die Ergebnisse der einzelnen Phasen differenziert nachzuvollziehen, Schwachstellen zu erkennen und entsprechende Lösungsansätze in die Diskussion einzubringen.

3.2 Bewertung der Phasen

Die Entwicklung der Liegedauer (Abb. 3) zeigte, dass die Kühe den veränderten Liege- und Ruheraum im Verlauf der Studie annahmen und ihre Gesamtliegedauer/24 h in der Akzeptanzphase deutlich erhöhten. Sie betrug in der fünften Steuerungsphase 11,7 Stunden und erreichte somit fast die Zielvorgabe von 12 Stunden.

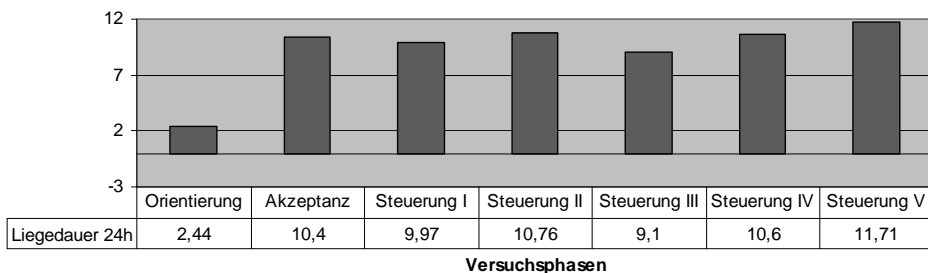


Abb. 3: Entwicklung der Gesamtliegedauer im Verlauf der Studie

Fig. 3: Total lying time according to the study flow

Durch die Optimierung des Komforts im Funktionsbereich Ruhen erzielten wir eine Verlängerung der einzelnen Liegephase (Abb. 4) auf 114 Minuten. Allein durch den Einbau einer mehrschichtigen Komfortmatte in der Steuerungsphase III verlängerte sich die durchschnittliche Liegedauer um 30 Minuten von 65 auf 95 Minuten. In den Steu-

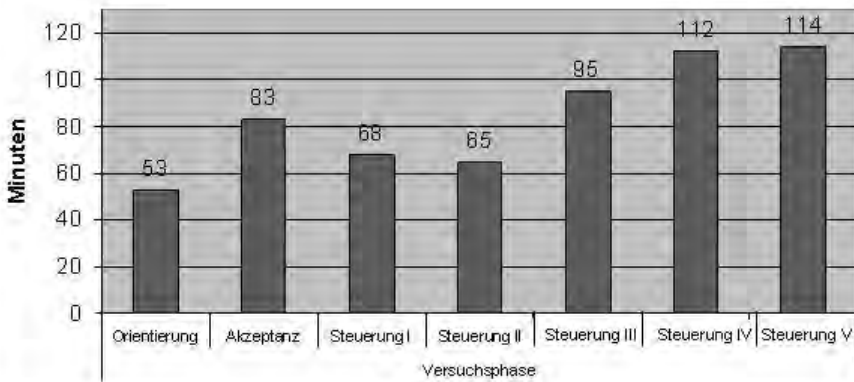


Abb. 4: Entwicklung Dauer der Liegephasen
 Fig. 4: Lying phases according to the study flow

erungsphasen IV und V wurden eigens entwickelte Liegeboxenbügel montiert, die die Einzelplätze in dem bisher offenen Funktionsbereich voneinander trennten und somit zusätzlich Schutz vor Verdrängungen boten. Diese Maßnahme führte zu einer durchschnittlichen Dauer der Liegephasen von 114 Minuten.

Mit den in den Steuerungsphasen initiierten Veränderungen konnten wir zeigen, dass das Bewertungssystem und die ausgewählten Kriterien und Indikatoren aussagefähig und anwendbar sind. Die entwickelte Matrix ist ein geeignetes Instrument Funktionsbereiche unter Aspekten der Tiergerechtigkeit kontrolliert zu optimieren.

3.3 Bewertung der eingesetzten Ziel-, Grenz- und Richtwerte

Die in der entwickelten Bewertungsmatrix eingesetzten Werte basierten auf Literaturangaben, eigenen Untersuchungen, Ableitungen von bekannten Größen sowie eigener langjähriger Beobachtungspraxis.

Einige dieser so bestimmten Werte konnten in der vorliegenden Arbeit verifiziert bzw. weiter abgesichert werden. Einige andere sollten in folgenden Expertengesprächen weiter zur Diskussion gestellt werden. In der Literatur wurde die durchschnittliche Dauer einer Liegephase (Abiegen – Aufstehen) von HÖRNING (2004) mit 82 bzw. 84 Minuten angegeben. Durch den höheren Komfort im Funktionsbereich Ruhen kam es in der Untersuchung zu einer Verlängerung der Liegephasen von 65 auf 114 Minuten. Durch das längere Liegen steigt allerdings die Gefahr von Dekubitalstellen im Gelenksbereich. Ein weiterer Grund für die Entstehung von Druckgeschwüren ist die kondensierende Feuchtigkeit zwischen Körper und Liegematte. Bei einer Verlängerung der Liegezeiten steigt somit zusätzlich die Gefahr von negativen Veränderungen im Gelenksbereich. Aus diesem Grunde wurden die Überschreitungen der Liegezeiten als negative Entwicklung gewertet.

4 Fazit

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und Überprüfung einer Methode zur objektiven Bestimmung der Tiergerechtigkeit eines komplexen Funktionsbereichs mithilfe einer mehrdimensionalen Bewertungsstruktur. Mit der Definition ethologischer Kriterien und Indikatoren sowie der Festlegung von Ziel und Grenzwerten wurde die Matrix erstellt und exemplarisch für die Entwicklung des Funktionsbereichs Ruhen angewandt.

Mit dieser Methode waren wir in einem interdisziplinären Team in der Lage, systematisch und objektiv die Veränderungen im Versuchsbereich zu erfassen, Ergebnisse zu analysieren, zu diskutieren und letztendlich neue Ziele für die Entwicklung und Optimierung des Funktionsbereichs Liegen zu definieren.

Mithilfe des hier vorgestellten Bewertungssystems können Funktionsbereiche in der Nutztierhaltung entwickelt und bewertet werden.

Für die Validierung der Kriterien und der beobachtbaren Indikatoren sowie für die Verifizierung der Ziel-, Richt- und Grenzwerte in der Bewertungsmatrix bedarf es noch weiterer wissenschaftlicher Diskussion und Untermauerung.

Das Bewertungssystem mit seinen Kriterien, Indikatoren und entsprechenden Wertevorgaben könnte auch für andere Fragestellungen und Nutztierarten angepasst und eingesetzt werden.

Literatur

- Whay et. al. (2003): Assessment of the welfare of dairy cattle using animal - based measurements direct observations and investigation of farm records Veterinary Record 153[7] 197-202
- Willen, S. (2004): Tierbezogene Indikatoren zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit in der Milchviehhaltung - methodische Untersuchungen und Beziehungen zum Haltungssystem, TH Hannover
- Hörning, B. (2003): Nutztierethologische Untersuchungen zur Liegeplatzqualität in Milchviehlaufstallsystemen unter besonderer Berücksichtigung eines epidemiologischen Ansatzes, Univ. Kassel, Witzenhausen, Habil.-schr. agr.

Ökologische Ferkelerzeugung – Möglichkeiten der Klimagestaltung im Abferkelstall

Organic pig production – possibilities for the creation of the microclimate in the farrowing stable

MIRIAM ABRIEL, CHRISTINA JAIS

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Prof.-Dürrwächter-Platz 2, 85586 Poing-Grub

Schlüsselwörter: Ferkelnest, Abferkelbucht, Lufttemperatur, Ökologische Schweinehaltung
Keywords: piglet nest, farrowing pen, air temperature, organic pig production

Zusammenfassung

Ziel der folgenden Versuche war es, Möglichkeiten der Kleinklimagestaltung in Öko-Abferkelbuchten und Ferkelnestern zu erproben.

In einer Untersuchung wurden im Versuchsstand verschiedene Gestaltungen von Ferkelnestern bezüglich ihrer Wärmewirkung im Nestinneren getestet. In einem weiteren Versuch wurden auf einem Praxisbetrieb Abferkelbuchten abgedeckt, die Auslaufklappen durch hochwertige dichtschießende Türen ersetzt und die Temperaturen in den abgedeckten und nicht abgedeckten Buchten gemessen. Zusätzlich wurden Temperaturmessungen in einem kleinen Abferkelabteil mit geringem Luftvolumen und massiver Stallhülle durchgeführt, um herauszufinden ob hier ohne eine Abdeckung der Buchten ausreichende Temperaturen erreicht werden können.

Die Temperaturmessungen ergaben gute Ergebnisse bei der Gestaltung der Kleinklimabereiche. Eine massive Stallhülle mit kleinem Raumvolumen ohne Abdeckung der Buchten genügt dagegen den Ansprüchen nicht.

Summary

The aim of the following experiments was, to work out the possibilities for the creation of the microclimate in farrowing pens and piglet nests for organic pig production.

In one experiment, different constructions of piglet nests were tested in an experimental rig, regarding their heating effect inside of the nests. In a further experiment on a farm, farrowing pens were covered, flaps to the outdoor area replaced by high quality airtight doors and the temperatures in the covered and non-covered pens were measured.

Additionally, temperatures were measured in a small farrowing section with low volume of air and massive walls to find out, if adequate temperatures could be reached here without covering the pens.

The measurements of the temperatures showed good results with the creation of microclimate areas. A stable with massive walls and low volume of air in contrast, could not meet the requirements.

1 Einleitung und Zielstellung

Ein Problem in der ökologischen Ferkelerzeugung stellt die ausreichende Klimatisierung der Abferkelbuchten dar (KÜHBERGER und JAIS, 2006). Zu fordern sind hier mindestens 12 °C im Liegebereich der Sau und 30 °C im Ferkelnest (BAUMGARTNER et. al., 2005). Auf 8 Praxisbetrieben fanden Klimamessungen in Abferkelställen statt (JAIS und ABRIEL, 2010). Die Messungen ergaben durchweg zu niedrige Temperaturen (z.T. < 5 °C) im Tierbereich während der kalten Jahreszeit. Dies war auf verschiedene Ursachen zurückzuführen: zu großes Luftvolumen im Stall im Verhältnis zum geringen Tierbesatz und ein zu hoher Luftaustausch durch Undichtigkeiten in der Stallhülle (z.B. Auslauföffnungen) bei fehlender Raumheizung. Daraus wurde die Notwendigkeit abgeleitet, die für Sau und Ferkel optimalen Temperaturen entweder durch die Einrichtung von Kleinklimabereichen zu erzielen, oder aber das Luftvolumen und den Luftaustausch im Stall so weit zu reduzieren, dass eine Erwärmung durch den Tierbesatz und/oder zeitweises Zuheizen möglich ist. Ziel der folgenden Untersuchungen war es, Möglichkeiten der Kleinklimagestaltung zu erproben.

2 Material und Methode

2.1 Einfluss der Gestaltung der Einhausung des Ferkelnests auf die Temperatur im Ferkelnest – Messungen im Versuchsstand

Der Versuch fand im Januar 2010 in einem leeren, nicht beheizten, massiven Gebäude statt. Während der Messungen lag die Raumtemperatur sehr konstant bei etwa 10 °C und entsprach damit genau den Umgebungsbedingungen der Ferkelnester, wie sie im Winter in Praxisbetrieben mit ökologischer Sauenhaltung vorgefunden werden.

Für den Versuch standen zwei Testnester zur Verfügung, von denen eines während aller Messphasen unverändert blieb (Kontrollvariante), während das andere stetig verändert wurde (Versuchsvariante). Die Grundform aller Ferkelnestvarianten bestand dabei aus einem Gerüst aus Fichtenholzplatten (Querschnitt 3 x 5 cm) mit den Maßen 140 cm (Breite) x 70 cm (Tiefe) x 60 cm (Höhe). Rückwand und Abdeckung bestanden aus 12 mm dicken Dreischichtplatten. Die Ferkelnester wurden mit elektrischen Bodenheizplatten beheizt. Für das Kontrollnest wurden beide Seitenwände und die Vorderwand des Ferkelnests mit bodenlangen PVC-Streifen versehen.

Insgesamt 6 Versuchsvarianten kamen zum Einsatz:

- Variante 1 mit Mehrschichtplatten an den Seiten und PVC-Streifen vorne
- Variante 2 mit Mehrschichtplatte auch an der Vorderseite und einem 30 x 30 cm großen Ferkelschlupf ohne PVC-Streifen
- Variante 3 entsprechend Variante 2, aber mit PVC-Streifen am Ferkelschlupf
- Variante 4 mit zusätzlicher Dämmung durch 4 cm dicke Dämmplatten und PVC-Streifen vor dem Ferkelschlupf
- Variante 5 mit Dämmung und durchgehendem, 30 cm hohem Ferkelschlupf mit PVC-Streifen
- Variante 6 aufbauend auf Variante 4, aber mit ausschließlicher Dämmung der Abdeckung

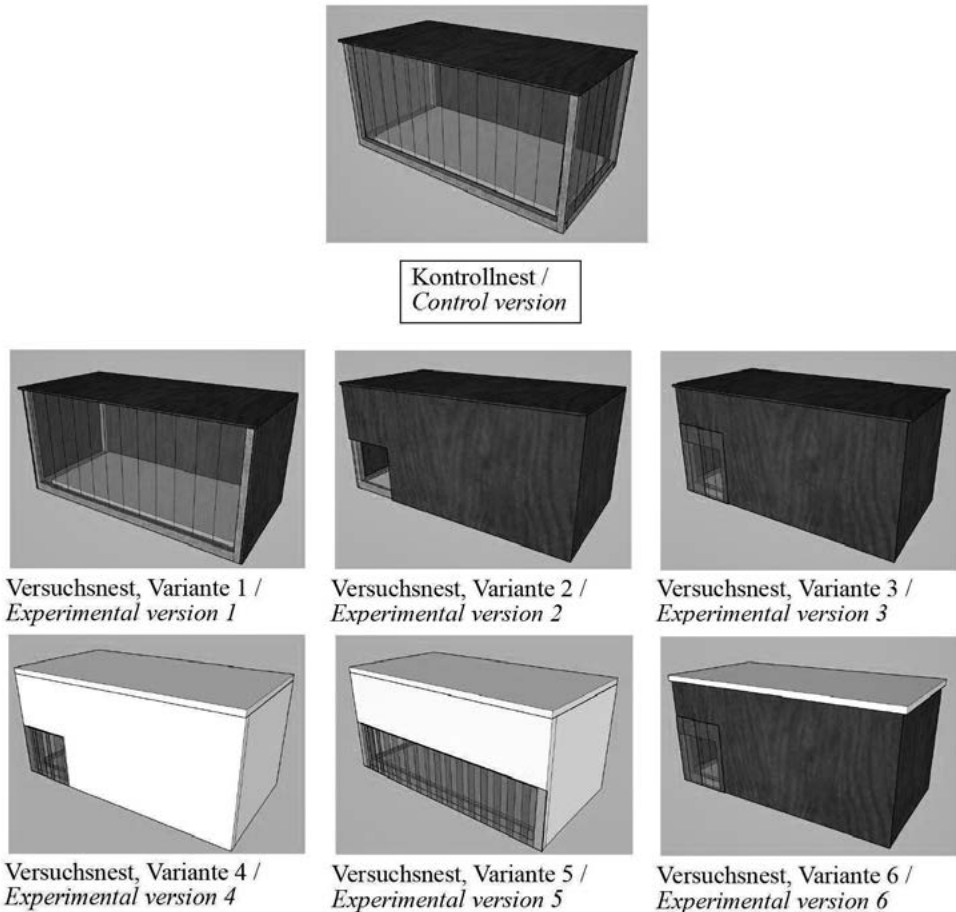


Abb. 1: Kontrollvariante und Versuchsvarianten der Ferkelnester im Versuchsstand
 Fig. 1: Control- and experimental versions of the nests in the test station

2.2 Praxisversuch zum Einfluss der Abdeckung des Liegebereichs der Muttersauen und einer gut schließenden Auslauftür

Der Versuch fand im Winter 2009/2010 in einem bayerischen Praxisbetrieb mit ökologischer Sauenhaltung statt, der über zwei Abferkelstallungen mit vier bzw. acht Abferkelbuchten verfügte. In dem kleineren Stall mit vier Abferkelbuchten wurde der Versuch durchgeführt. Die Buchten waren als sog. „Schweitzer Abferkelbuchten“ gestaltet. Die Öffnungen zu den Ausläufen waren im ursprünglichen Zustand der Buchten mit Schwingklappen versehen, die etliche Undichtigkeiten aufwiesen.

Für die erste Phase des Versuchs wurden die Liegebereiche und Mistgänge der beiden mittleren Buchten mit 4 cm dicken Sandwichplatten abgedeckt. Der Durchgang vom Liegebereich zum Mistgang blieb in diesem Versuchsaufbau offen. Die Klappen zu den Ausläufen wurden in diesen beiden Buchten durch hochwertige, selbstschließende

Auslauffüren ersetzt und sämtliche Lücken in der Aufstallung mit Klebeband abgedichtet. In der zweiten Phase des Versuchs wurde in jede der vier Auslauföffnungen eine dichte Tür eingebaut und in den mittleren beiden Buchten nur noch die Liegebereiche abgedeckt. An den Durchgängen von den beiden abgedeckten Liegebereichen zu den jeweiligen Mistgängen wurden PVC-Streifenvorhänge abgebracht.

2.3 Temperaturmessungen in einem kleinen Abferkelabteil mit geringem Luftvolumen und massiver Stallhülle

In einem kleinen Stallabteil mit acht Abferkelbuchten wurde über eine Phase von 5 Tagen bei voller Stallbelegung (acht Sauen mit Ferkeln) mit einer durchschnittlichen Außentemperatur von $-5,6\text{ °C}$ und über eine Phase von 5 Tagen mit halber Stallbelegung (vier Sauen mit Ferkeln) und einer durchschnittlichen Außentemperatur von $-4,9\text{ °C}$ die Lufttemperatur im Stall gemessen. Der Stall verfügte über eine niedrige Raumhöhe (2,50 m) mit oben aufliegendem Strohlager, massive Ziegelwände und dicht schließende Auslauffüren. Das Messgerät für die Temperaturmessung befand sich 20 cm unter der Stalldecke.

3 Ergebnisse

3.1 Einfluss der Gestaltung der Einhausung des Ferkelnests auf die Temperatur im Ferkelnest – Messungen im Versuchsstand

In Tabelle 1 werden die im Minutentakt erfassten Messergebnisse für die Lufttemperatur als Mittelwerte über die gesamte Messdauer von jeweils 24 Stunden dargestellt, da die Temperaturen innerhalb dieser Messperioden äußerst konstant waren. Während der gesamten Versuchsphase lag die Raumtemperatur des Gebäudes, in dem der Versuchsstand aufgebaut war, konstant bei knapp über 10 °C . Die Temperaturen im Kontrollnest, das in seiner Gestaltung einer auf den Praxisbetrieben üblichen Ausführung entsprach, blieben mit knapp 20 °C weit unter dem angestrebten Zielwert von 30 °C . Im Versuchsnest stiegen die Lufttemperaturen mit zunehmender Dichtigkeit und besserer Dämmung von 22 auf 30 °C . Bei Versuchsnest 4, mit vollständiger Dämmung und kleinem Eingang mit PVC-Streifen, wurde die Zieltemperatur von 30 °C erreicht.

Tab. 1: Mittelwerte der gemessenen Temperaturen über jeweils 24 Stunden
Tab. 1: Mean values of the measured temperatures over periods of 24 hours

Versuchsnest	Kontrollnest °C	Versuchsnest °C	Raum °C
1	19,7 (s:0,3)	22,3 (s:0,3)	10,2 (s:1,2)
2	20,4 (s:0,3)	22,7 (s:0,2)	10,3 (s:1,1)
3	20,1 (s:0,3)	25,1 (s:0,5)	10,2 (s:1,1)
4	18,8 (s:0,4)	30,3 (s:0,4)	10,2 (s:1,1)
5	19,3 (s:0,3)	23,5 (s:0,5)	10,0 (s:1,4)
6	19,5 (s:0,3)	26,6 (s:0,3)	10,2 (s:1,3)

3.2 Praxisversuch zum Einfluss der Abdeckung des Liegebereichs der Muttersauen und einer gut schließenden Auslauftür

In der ersten Messperiode lag der Median der Temperaturen im Außenbereich bei $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Messwerte der abgedeckten Buchten lagen stets deutlich (bis zu 10 K) über den Werten der nicht abgedeckten Bucht (Abb. 2). In Bucht 4 fiel die Messtechnik aus, weshalb hier nur die Daten der Buchten 1-3 dargestellt werden. Insgesamt waren die Temperaturen in den Liegebereichen der abgedeckten Buchten um durchschnittlich 5,7 K (Bucht 2) und 5,3 K (Bucht 3) höher als in Bucht 1 (Tab. 2). Bei der niedrigsten gemessenen Außentemperatur von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ lag die Temperatur im Liegebereich der nicht abgedeckten Bucht bei nur etwa $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Liegebereiche der abgedeckten Buchten erreichten dagegen bei $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ Außentemperatur etwa 13 bis $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die relative Luftfeuchtigkeit war in den Liegebereichen der abgedeckten Buchten um etwa 6 %-Punkte höher als in der nicht abgedeckten Bucht (Tab. 3). Umgerechnet in die absolute Luftfeuchtigkeit war ein deutlicher Anstieg des Wassergehalts in der Luft um etwa $3,8\text{ g/m}^3$ festzustellen (Tab. 4).

Die zweite Versuchsperiode fiel in eine Zeit relativ hoher Außentemperaturen mit durchschnittlich $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturen der abgedeckten Buchten lagen auch hier wieder im Liegebereich durchschnittlich 6,0 K (Bucht 2) und 5,6 K (Bucht 3) über den Temperaturen von Bucht 1 (Tab. 2) und bestätigten die Ergebnisse der ersten Versuchsphase. Die relative Luftfeuchtigkeit war in dieser Versuchsphase mit etwa 16 %-Punkten deutlich niedriger in den abgedeckten Liegebereichen. Umgerechnet in die absolute Luftfeuchtigkeit ergab sich ein nur um $1,5\text{ g/m}^3$ höherer Wassergehalt der Luft in den abgedeckten Buchten, was mit der deutlichen Trennung des Liegebereichs zum Mistgang durch PVC-Streifen im Vergleich zu Versuchsaufbau 1 zu erklären ist.

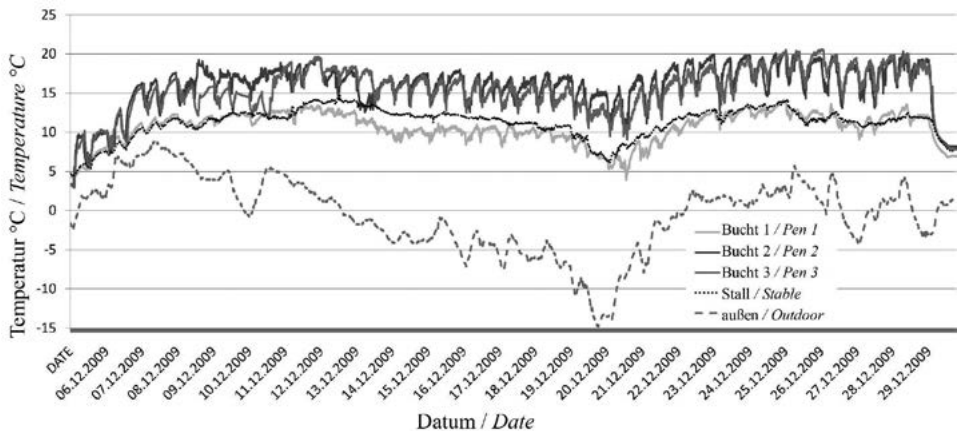


Abb. 2: Temperaturverläufe in den Liegebereichen der Buchten im ersten Versuchsaufbau
Fig. 2: Temperature profiles of the lying-areas in the first experiment

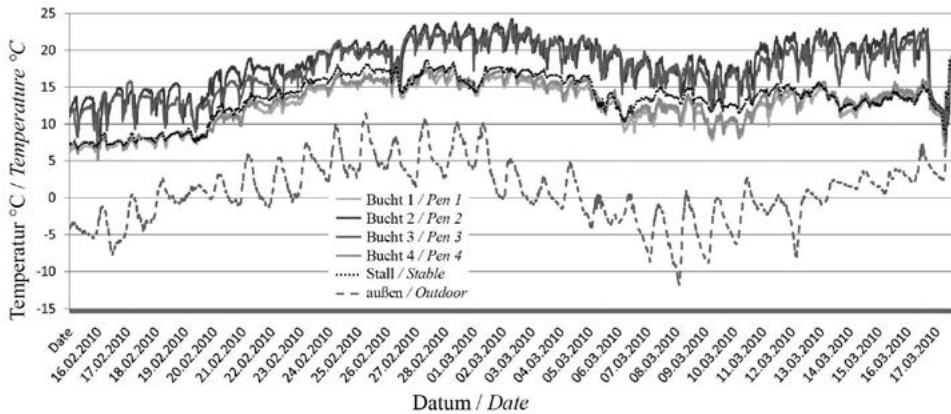


Abb. 3: Temperaturverläufe in den Liegebereichen der Buchten im zweiten Versuchsaufbau
 Fig. 3: Temperature profiles of the lying-areas in the second experiment

Tab. 2: Mediane der Temperaturdifferenzen zu Bucht 1 in Versuchsaufbau 1 und 2
 Tab. 2: Median of the temperature differences to pen 1 in experiment 1 and 2

Temperaturdifferenzen (Mediane)	Versuchsaufbau 1	Versuchsaufbau 2
Liegebereiche Bucht 2 – Bucht 1	5,7 K	6,0 K
Liegebereiche Bucht 3 – Bucht 1	5,3 K	5,6 K
Liegebereiche Bucht 4 – Bucht 1	-	0,5 K
Mistgänge Bucht 2 – Bucht 1	4,5 K	0,2 K
Mistgänge Bucht 3 – Bucht 1	4,1 K	0,4 K
Mistgänge Bucht 4 – Bucht 1	-	0,0 K

Tab. 3: Mediane der gemessenen relativen Luftfeuchtigkeit (rh) in den Liegebereichen der Versuchsvarianten
 Tab. 3: Median of the relative humidity (rh) in the lying areas of the experimental-versions

Relative Luftfeuchte (Mediane)	Bucht 1	Bucht 2	Bucht 3	Stall	außen
Versuchsaufbau 1	79,9 % rh	87,7 % rh	84,1 % rh	85,0 % rh	89,7 % rh
Versuchsaufbau 2	82,9 % rh	67,7 % rh	66,8 % rh	81,7 % rh	84,2 % rh

Tab. 4: Errechnete absolute Luftfeuchtigkeit in den Liegebereichen der Versuchsvarianten
 Tab. 4: Calculated absolute humidity in the lying areas of the experimental-versions

Absolute Luftfeuchte (Mediane)	Bucht 1	Bucht 2	Bucht 3	Stall	außen
Versuchsaufbau 1	8,1 g/m ³	12,4 g/m ³	11,4 g/m ³	8,9 g/m ³	4,3 g/m ³
Versuchsaufbau 2	9,9 g/m ³	11,6 g/m ³	11,2 g/m ³	10,2 g/m ³	4,5 g/m ³

3.3 Temperaturmessungen in einem kleinen Abferkelabteil mit geringem Luftvolumen und massiver Stallhülle

Auch in diesem massivem Stallabteil mit geringem Luftvolumen wurden ohne Einsatz einer Raumheizung in einer 5-tägigen Messperiode mit einer mittleren Außentemperatur von -5,6 °C trotz voller Belegung im Durchschnitt nur 9,3 °C erreicht. In einer weiteren 5-tägigen Messphase mit halber Stallbelegung wurden bei durchschnittlich -4,9 °C Außentemperatur nur 7,7 °C in einer Höhe von etwa 2,30 m erreicht. Vorangegangene Messungen zeigten, dass durch die übliche Temperaturschichtung der Stallluft, die Temperatur im Tierbereich ohne Abdeckung der Buchten noch um etwa 3–4 K darunter liegen dürfte. Dies bedeutet eine Temperatur in den Buchten von etwa 6 °C in der Phase mit voller Stallbelegung und von etwa 4–5 °C bei halber Stallbelegung.

4 Fazit und Ausblick

In den beschriebenen Untersuchungen konnten durch die Schaffung von Kleinklimabereichen die geforderten Temperaturen von 30 °C im Ferkelnest und 12 bis 15 °C im Liegebereich der Sau erreicht werden. Damit steht für ökologische Abferkelstallungen ein Weg zur angemessenen Klimatisierung zur Verfügung. Es ergeben sich jedoch Konsequenzen für die Gestaltung der Aufstallungselemente: Buchtentrennwände und Türen müssen absolut dicht sein. Die üblichen Holzbretter und Gitter genügen den Ansprüchen nicht.

In einem kleinvolumigen Stall mit gutem Dämmwert und dicht schließenden Ausläuftüren waren die Temperaturen auch bei voller Buchtenbelegung zu niedrig. Soll also auf die Kleinklimabereiche verzichtet werden, muss eine Raumheizung, zumindest zeitweise, eingesetzt werden.

Zur Gestaltung und Abstimmung von Stallhülle, Heizung und Kleinklima sind weitere Untersuchungen nötig.

Literatur

- Baumgartner, J.; Leeb, B.; Priller, H.; Hagmüller, W.; Podstatzky, L.; Untersberger, M. (2005): Sauen- und Ferkelgesundheit rund um die Geburt, LFI Ländliches Fortbildungsinstitut, Raumberg-Gumpenstein
- Jais, C; Abriel, M. (2010): Gestaltung des Ferkelnests in der Öko-Abferkelbucht. *Landtechnik* 65(5), 350–353
- Jais, C; Abriel, M.: Teilprojekt „Haltung“ des Forschungsprojekts zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der ökologischen Ferkelerzeugung in Bayern. <http://www.lfl.bayern.de/itt/tierhaltung/schweine/41096/>
- Kühberger, M.; Jais, C. (2006): Abferkeln im Außenklimastall, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
- Report of the Scientific Veterinary Committee: The welfare of intensively kept pigs. Report of the Scientific Veterinary Committee, 30.07.1997. http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/farm/out17_en.pdf, Zugriff am 13.04.2010

Entwicklung von Schieberentmistungsanlagen für Mastschweine

Development of manure scraper systems for fattening pigs

ALEXANDRA ETTINGER¹, ROLAND WEBER¹, BEAT STEINER², LORENZ GYGAX³,
BEAT WECHSLER³, THOMAS JUNGBLUTH⁴

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, 8356 Ettenhausen, Schweiz

² Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Bau, Tier und Arbeit, 8356 Ettenhausen, Schweiz

³ Bundesamt für Veterinärwesen, Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, 8356 Ettenhausen, Schweiz

⁴ Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, 70599 Stuttgart, Deutschland

Schlüsselwörter: Mastschweine, Schieber, Entmistung, Entwicklung

Keywords: *fattening pigs, manure scraper, developing*

Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung sollte Aufschluss über die Verhaltensreaktionen an zwei speziell für Mastschweine entwickelten Mistschiebern (ein Kombi- und Falt-Kombi-Schieber) geben. Die Datenerhebungen erfolgten während zwei Mastdurchgängen im Jahr 2010 im Auslauf des Versuchsstalles der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART in Tänikon. Die unterschiedlichen Schiebertypen und das Alter der Schweine hatten einen signifikanten Einfluss auf die Verhaltensweisen „Ausweichen seitlich“ und „Übersteigen mittig“. Der Falt-Kombi-Schieber wurde von einem höheren Anteil der Tiere mittig überstiegen als der Kombischieber ($F_{1,46} = 80,40$, $p < 0,01$). Seitliches Ausweichen wurde in der Vormast tendenziell von einem höheren Anteil der Tiere gezeigt als in der Endmast ($t_{14} = -2,01$; $p = 0,06$). Die beobachteten Unterschiede im Verhalten der Schweine zwischen den Schiebertypen sind ein Hinweis, dass das Summenmaß der Schieber (Höhe + Tiefe) von Bedeutung für das Verhalten der Tiere ist.

Summary

Two recently developed manure scraping systems (tilting and V-shape) used in pig fattening were reviewed in this study to identify their effects on the animals' behaviour. Data was recorded during two fattening periods in 2010 in the outdoor exercise area of the pigsty at the Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART in Tänikon. It was found that the type of the manure scraper and the age of the pigs had a significant influence on the occurrence of the two behavioural elements "avoiding the scraper side-wards" and "crossing the scraper in the middle". A higher proportion of pigs crossed the V-shape scraper in the middle compared to the tilting scraper ($F_{1,46} = 80.40$, $p < 0.01$). During the growing phase of the fattening period a higher proportion of animals tended to avoid the scraper sideways compared to the finishing phase of the fattening period ($t_{14} = -2.01$; $p = 0.06$). The results indicate that the dimensions of a scraper (height + depth) do have an influence on the behaviour of the pigs.

1 Einleitung

Bei Bio- und anderen Labelbetrieben findet in der Schweinehaltung der Einbau von planbefestigten Böden sowohl im Stallbereich als auch im Auslauf eine erhöhte Verbreitung. Zur Arbeitsentlastung und Zeiteinsparung werden in solchen Systemen auch immer häufiger Schieberentmistungsanlagen installiert. Für den Schweinebereich wurden bisher noch keine speziellen Schieber entwickelt. Es werden Schieber aus dem Rinderbereich oder nach Vorgaben der Landwirte entwickelte Schieber verwendet. Dadurch ergibt sich die Problematik, dass einerseits dem unterschiedlichen Verhalten der beiden Tierarten (z. B. ausgeprägtes Erkundungsverhalten bei Schweinen) und andererseits den unterschiedlichen anatomischen Merkmalen (z. B. Körpergröße) nicht Rechnung getragen wird.

Im Bereich der Schweinehaltung (Zucht- und Mastschweine) wurden bisher noch keine experimentellen Untersuchungen zur Gestaltung von Schieberentmistungsanlagen unter dem Gesichtspunkt der Tiergerechtheit durchgeführt. Die Untersuchung sollte Aufschluss darüber geben, wie Schieber für Schweine gestaltet sein müssen, um dem Verhalten und den anatomischen Merkmalen dieser Tierart gerecht zu werden. Dazu wurde in einem ersten Projektteil das Verhalten an bestehenden, nicht für die Schweinehaltung entwickelten Schiebern erhoben. Die Ergebnisse dieses Untersuchungsteils legten einen Einfluss der Abmessungen der Schieber auf das Verhalten der Schweine nahe (ETTINGER et al. 2010). Im darauf folgenden Entwicklungsteil der Arbeit wurden zwei neu entwickelte Schiebertypen (ein falt-Kombi- und ein Kombischieber) mit veränderten Baumaßen getestet.

Dieser Projektteil sollte Aufschluss über die Verhaltensreaktionen an speziell für Mastschweine entwickelte Schieberentmistungsanlagen geben und Unterschiede zu schon bestehenden Anlagen aufzeigen.

2 Material und Methoden

2.1 Neu entwickelte Entmistungsschieber

Falt-Kombi-Schieber



Abb. 1: Neu entwickelter falt-Kombi-Schieber
 Fig. 1: New design of V-shape scraper with folding ends

Der neu entwickelte falt-Kombi-Schieber hatte im Gegensatz zu bestehenden Faltschiebern zusätzliche Seitenflügel, was ihn an den Seiten noch schlanker machte (Abb. 1). Die Mastschweine konnten ihn dadurch leichter übersteigen. Das Summenmaß (Höhe + Tiefe) des Schieberkörpers des neuen falt-Kombi-Schiebers betrug 21 cm. Die Seitenflügel hatten ein Summenmaß von 15 cm (Höhe: 11 cm, Tiefe: 4 cm)

Kombischieber

Beim neuentwickelten Kombischieber war das Reinigungsschild in den Schieberkorpus integriert (Abb. 2). Dadurch änderte der neue Schieber auf der Rückfahrt, im Gegensatz zu bestehenden Schiebern, sein Summenmaß nicht mehr, da kein Schild auf der Rückfahrt nach oben ausgeklappt wird. Das Summenmaß des Schieberkorpus des neuen Kombischiebers betrug außer in der Mitte 30 cm. An der Führung des Zugseiles an der breitesten Stelle des Schieberkorpus betrug das Summenmaß 45 cm. Die Seitenflügel hatten je eine Länge von 85,5 cm und ein Summenmaß von 15,5–22 cm (Höhe: 11 cm; Tiefe: 5,5–11 cm). Die Tiere hatten durch die langen Seitenflügel einen größeren Bereich, der schlanker als der Mittelbau ausgeführt und dadurch besser zu übersteigen war. Auf der Rückfahrt waren die Seitenflügel gerade gestellt, dadurch war Platz zum seitlichen Ausweichen vorhanden.



Abb. 2: Neu entwickelter Kombischieber
 Fig. 2: New design of tilting scraper with folding ends

2.2 Versuchsdesign

Die Untersuchung fand im Versuchsstall der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART in Tänikon in je zwei Vor- und Ausmastbuchten mit je 27 Tieren statt. Die neu entwickelten Entmistungsschieber wurden im Auslauf eingebaut. Dieser war mittig planbefestigt und die Seitenumrandung mit Spaltenrosten ausgeführt (Abb. 2). Die 27 Tiere einer Bucht wurden in drei 9er-Gruppen unterteilt. Die Einteilung der Schweine in die drei Gruppen erfolgte zufällig beim Einstellen in die Vormastbuchten mittels verschiedenfarbiger Ohrmarken.

Die Datenerhebungen erfolgten in zwei Mastdurchgängen im Jahr 2010. Pro Mastdurchgang wurden beide Schiebertypen getestet. Der Austausch der Schieber erfolgte zeitgleich mit dem Umställen der Tiere von den Vormast- in die Endmastbuchten.

Für die Datenerhebung wurde jeweils eine 9er-Gruppe separiert, die Zugang zum Auslauf erhielt. Die restlichen zwei Gruppen verblieben in einem abgetrennten Bereich der Bucht im Stall. Jeder Durchgang bestand aus einer zweitägigen Eingewöhnungsphase und einer daran anschließenden zweitägigen Versuchsphase, in der die Datenerhebung stattfand. Im Anschluss an diese Versuchsphase erhielt die nächste 9er-Gruppe Zugang zum Auslauf. So wurden in drei Blöcken die Verhaltensweisen aller 27 Tiere einer Bucht erhoben.

Erfasst wurden folgende Verhaltensweisen:

- Ausweichen seitlich: Das Tier wich vor dem Schieber seitlich aus.
- Übersteigen mittig: Das Tier überstieg den Schieber in der Mitte (Bereich ohne die Seitenflügel).

- Kritische Situationen: Umfasste alle Situationen, bei denen sich ein Schwein in einer potentiell gefährlichen Situation befand (Einklemmen zwischen Schieber und Buchtentrennwand, Einklemmen eines Körperteils unter dem Schieber, Ausrutschen und Stürzen).

Bei der Auswertung wurde die Häufigkeit der Verhaltensweisen auf die Anzahl der im Auslauf anwesenden Tiere bezogen. Entsprechend zeigen die Resultate den Anteil der am Schieber anwesenden Tiere, welche ein bestimmtes Verhalten ausführten. Insgesamt wurden 3564 Verhaltensweisen von 218 Mastschweinen analysiert.

2.3 Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte mithilfe eines gemischte Effekte Modells unter Verwendung von R 2.10.1. Fixe Effekte waren die beiden Schiebertypen (Falt- versus Kombischieber), das Alter der Tiere (Vor- versus Endmast) und die Laufrichtung des Schiebers (Abschieben versus Rückfahrt). Zufälliger Effekt war der Schiebertyp geschachtelt im Alter der Tiere in der Laufrichtung des Schiebers und in der Gruppe. Zur Überprüfung der Modellannahmen wurde eine Residuenanalyse durchgeführt. Verhaltensweisen mit normalverteilten Residuen wurden mit dem dekadischen Logarithmus („Übersteigen mittig“) transformiert, solche mit binormalverteilten Residuen („Ausweichen seitlich“ und „kritische Situationen“) wurden dichotomisiert.

3 Resultate

3.1 Ausweichen seitlich

Beim Falt-Kombi-Schieber zeigte ein höherer Anteil der Mastschweine „Ausweichen seitlich“ auf der Abschiebefahrt als auf der Rückfahrt. Beim Kombischieber hingegen zeigte ein größerer Anteil der Schweine dieses Verhalten bei der Rückfahrt als bei der Abschiebefahrt (Abb. 3; Interaktion zwischen Schiebertyp und Laufrichtung: $t_{83} = 4,70$; $p < 0,01$). In der Vormast wich tendenziell ein höherer Anteil Schweine seitlich aus als in der Endmast ($t_{14} = -2,01$; $p = 0,06$).

3.2 Übersteigen mittig des Schiebers

„Übersteigen mittig“ trat beim Falt-Kombi-Schieber bei einem höheren Anteil der Schweine auf als beim Kombischieber (Abb. 4, $F_{1,46} = 80,40$, $p < 0,01$). Zusätzlich bestand eine signifikante Interaktion zwischen dem Alter der Tiere, welche dieses Verhalten zeigten, und der Laufrichtung ($F_{1,83} = 9,96$, $p < 0,01$). Beim Abschieben in der Endmast war der Anteil der Tiere, der den Schieber mittig überstieg, bei beiden Schiebertypen höher als bei der Rückfahrt. In der Vormast konnte hingegen kein Effekt der Fahrtrichtung beobachtet werden.

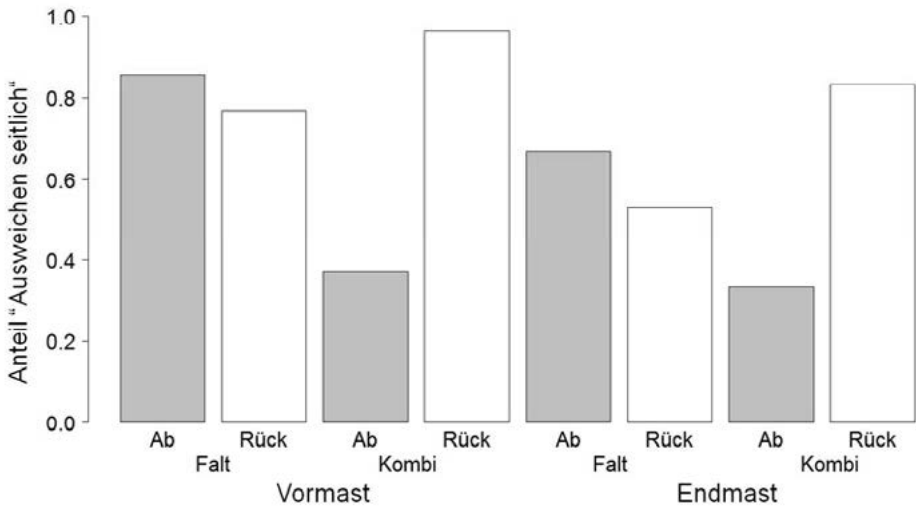


Abb. 3: Anteil Mast Schweine, die „Ausweichen seitlich“ pro Abschieben (Ab) und Rückfahrt (Rück) beim Falt-Kombi- (Falt) und beim Kombischieber (Kombi) in der Vor- und Endmast gezeigt haben.

Fig. 3: Proportion of fattening pigs showing "avoiding sideways" behaviour during the forward (Ab) and backward run (Rück) of both the V-shape scraper with folding ends (Falt) and the tilting scraper with folding ends (Kombi) in the growing (Vormast) and finishing phase (Endmast) of the fattening period.

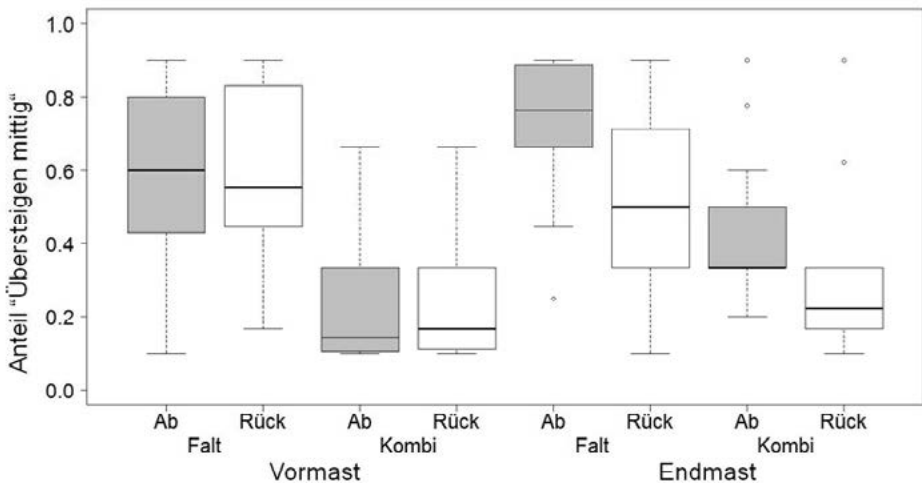


Abb. 4: Anteil Mast Schweine, die „Übersteigen mittig“ pro Abschieben (Ab) und Rückfahrt (Rück) beim Falt-Kombi- (Falt) und beim Kombischieber (Kombi) in der Vor- und Endmast gezeigt haben.

Fig. 4: Proportion of fattening pigs showing "cross in the middle" behaviour during the forward (Ab) and backward run (Rück) of both the V-shape scraper with folding ends (Falt) and the tilting scraper with folding ends (Kombi) in the growing (Vormast) and finishing phase (Endmast) of the fattening period.

3.3 Kritische Situationen

Insgesamt kam es zu 75 kritischen Situationen, bei denen ein Schwein ausrutschte, stürzte oder eingeklemmt wurde (Abb. 5). Die häufigsten kritischen Situationen bei beiden Schiebertypen betrafen das „Ausrutschen“. „Einklemmen“ konnte nur beim Falt-Kombi-Schieber beim Abschieben in der Vormast beobachtet werden.

Bei den kritischen Situationen hatte weder der Schiebertyp ($t_{46} = 0,36$; $p = 0,72$) noch das Alter der Mastschweine ($t_{14} = 1,16$; $p = 0,26$) noch die Laufrichtung ($t_{84} = -0,13$; $p = 0,89$) einen signifikanten Einfluss.

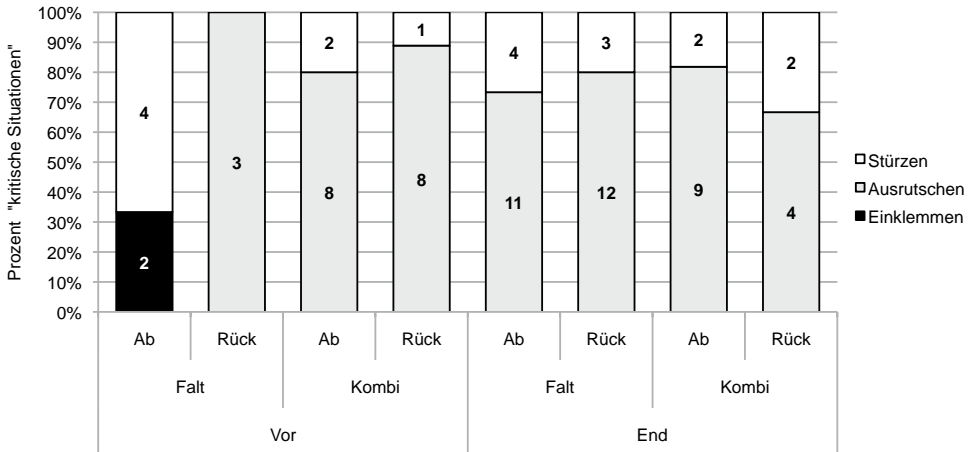


Abb. 5: Prozentuale Verteilung der „kritischen Situationen“ bestehend aus den Verhaltensweisen Stürzen, Ausrutschen und Einklemmen, welche in der Vor- und Endmast beim Abschieben (Ab) und bei der Rückfahrt (Rück) am Falt-Kombi- (Falt) und am Kombischieber (Kombi) aufgetreten sind. In den Säulen eingetragen sind die absoluten Häufigkeiten der einzelnen Verhaltensweisen.

Fig. 5: Proportion of fattening pigs observed in "critical situations" consisting of "falling" (Stürzen), "slipping" (Ausrutschen) and "jamming" (Einklemmen) occurring during forward (Ab) and backward runs (Rück) with both the V-shape scraper with folding ends (Falt) and the tilting scraper with folding ends (Kombi) in the growing and finishing phase of the fattening period. Absolute frequency of the behaviours are presented in the bars.

4 Diskussion

Beim Falt-Kombi-Schieber überstieg ein höherer Anteil der Schweine den Schieber mittig als beim Kombischieber. In der Endmast war der Anteil der Tiere, der den Schieber mittig überstieg, bei beiden Schiebertypen höher als in der Vormast. Diese Ergebnisse können mit der unterschiedlichen Bauweise der beiden Schiebertypen erklärt werden. Der Falt-Kombi-Schieber war schmaler gebaut (Summenmaß 21 cm) als der Kombischieber (Summenmaß 30–45 cm) und konnte damit von den Tieren besser überstiegen werden. Die Unterschiede zwischen Vor- und Endmast deuten darauf hin, dass die frisch eingestellten Schweine noch Probleme hatten, die Schieber zu übersteigen, vermutlich

aufgrund der geringeren Körpergröße. Diese Interpretation wird dadurch bekräftigt, dass in der Vormast mehr „Ausweichen seitlich“ zu beobachten war als in der Ausmast.

Beim Falt-Kombi-Schieber zeigte ein größerer Anteil der Mastschweine auf der Abschiebefahrt „Ausweichen seitlich“ als auf der Rückfahrt. Beim Kombischieber verhielt es sich umgekehrt. Beim Kombischieber klappen auf der Rückfahrt die Seitenflügel ein, wodurch die Tiere mehr Platz haben, um seitlich auszuweichen als auf der Abschiebefahrt. Der Falt-Kombi-Schieber zieht sich auf der Rückfahrt zu einem „V“ zusammen und bietet damit den Tieren noch mehr Platz zum Ausweichen. Er wies aber auch das kleinere Summenmaß auf als der Kombischieber, weshalb die Mastschweine ihn leichter mittig übersteigen konnten.

Die Verhaltensweisen „Ausrutschen“ und „Stürzen“ trugen am meisten zu den kritischen Situationen bei. Einklemmen kam vermutlich deshalb so selten vor, da die Versuchsdurchführende die Tiere vorzeitig wegtrieb, um eine solche kritische Situation zu vermeiden. Dennoch trat „Einklemmen“ in zwei Fällen auf, als sich die Klauenspitzen eines Schweines im Spalt des Rostes befanden und der Schieber darüber fuhr. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Schieberentmistungsanlagen auf Spaltenrosten bei der Anwesenheit von Schweinen kritisch zu betrachten.

5 Schlussfolgerung

Die Unterschiede im Verhalten zwischen Falt-Kombi- und Kombischieber bei verschiedener Laufrichtung sowie unterschiedlichem Alter der Mastschweine deuten darauf hin, dass das Summenmaß eines Schiebers eine große Bedeutung für die Tiere hat. Je kleiner dieses Maß ist, desto besser können sie einen Mistschieber übersteigen.

Literatur

Ettinger, A.; Steiner, B.; Gyöax, L.; Wechsler, B.; Weber, R. (2010): Der Einfluss von Schieberentmistungsanlagen auf das Verhalten von Mast- und Zuchtschweinen. In: KTBL [Hrsg.]: Aktuelle Arbeiten zur artgemässen Tierhaltung 2010. KTBL-Schrift 482, KTBL, Darmstadt, 234–242

Einfluss von Entmistungsschiebern auf die Herzaktivität und das Verhalten von Milchkühen

Effects of manure scrapers on cardiac activity and behaviour in dairy cows

MELANIE BUCK¹, KATHARINA FRIEDLI¹, BEAT STEINER², LORENZ GYGAX¹, BEAT WECHSLER¹, ADRIAN STEINER³

¹ Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine, Bundesamt für Veterinärwesen, 8356 Ettenhausen, Schweiz

² Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Bau Tier und Arbeit, 8356 Ettenhausen, Schweiz

³ Vetsuisse-Fakultät Universität Bern, Departement für klinische Veterinärmedizin, Wiederkäuerklinik, 3001 Bern, Schweiz

Schlüsselwörter: stationäre Entmistungsanlagen, Milchkühe, Tiergerechtigkeit, Herzratenvariabilität, Fresszeiten, Verhalten

Keywords: manure scraper, dairy cows, animal welfare, heart rate variability, feeding behaviour, behaviour

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden die Herzaktivität, die Fresszeiten und die Reaktionen von Kühen bei Konfrontationen mit unterschiedlichen Mistschieber-Modellen erfasst, um die Tiergerechtigkeit von stationären Entmistungsanlagen in Laufställen zu beurteilen. Die Herzaktivitätsmessungen lassen auf eine geringe Belastung der Tiere während des Entmistungsvorganges schließen. Die Fresszeitenerfassung hingegen zeigte, dass ein Schieberdurchlauf während der Hauptfresszeit das Fressverhalten der Tiere beeinträchtigt. Die Anzahl Tiere auf dem Laufgang vor dem Start der Entmistung beeinflusst die Reaktionen der Tiere auf die Schieber-Konfrontation stärker als das jeweilige verwendete Schieber-Modell.

Summary

In this study manure scrapers were examined with regard to their effects on the welfare of dairy cows. Cardiac activity, feeding behaviour and direct reactions to encounters with the scraper were analysed. The results of cardiac-activity measurement showed that manure scraping caused low stress reactions. Feeding behaviour records, however, showed that the cows were disturbed when the scraper was activated during the main feeding-time. The reactions to scraper encounters depended on the number of animals present on the scraper run before the scraping started rather than on the type of the scraper. Based on the findings of this study, the authors concluded that manure scrapers analysed in this study are animal-friendly.

1 Einleitung und Zielsetzung

Stationäre Entmistungsanlagen zählen zur etablierten Standardeinrichtung in Milchviehlaufställen. In der vorliegenden Arbeit sollte der Einfluss dieser Anlagen auf Milchkühe erfasst werden, um daraus Vorschläge zu deren Optimierung hinsichtlich der Tiergerechtheit abzuleiten. Dafür wurden insgesamt drei Versuche durchgeführt. In einem ersten Versuch wurde die Herzaktivität während der Entmistung als Indikator für eventuelle Belastung gemessen. Im zweiten Versuch wurde der Einfluss des Entmistungszeitpunktes auf das Fressverhalten untersucht. Im letzten Versuch wurden die Reaktionen auf Konfrontationen mit dem Schieber beobachtet, wobei unterschiedliche Schieber-Modelle verglichen wurden.

2 Material und Methoden

2.1 Veränderungen der Herzaktivität während der Entmistung

Um die Belastung der Tiere während eines Entmistungsvorganges zu beurteilen, wurde auf 3 Betrieben mit stationären Entmistungsanlagen bei jeweils 10 Tieren (davon insgesamt 8 Erstlaktierende) die Herzaktivität gemessen und gleichzeitig das Verhalten per Videobeobachtung aufgezeichnet. Die Herzaktivität wurde während 10 Entmistungen pro Betrieb mit Polar™-Pulsuhren gemessen und in Form von RR-Intervallen (Zeit zwischen 2 Herzschlägen, je höher die Herzfrequenz, umso kleiner die RR-Intervalle) erfasst. Zur Kontrolle wurden das Verhalten und die Herzaktivität zusätzlich ohne Entmistung aufgezeichnet. Berücksichtigt wurden folgende Verhaltensweisen: in der Box stehen, halb in der Box stehen, liegen, auf dem Laufgang stehen oder gehen, sowie fressen. In den Situationen mit Entmistung wurden zusätzlich folgende Verhaltensweisen erfasst: durch den Schieber vom Fressplatz verdrängt werden, dem Schieber als einzelnes Tier ausweichen, dem Schieber im Tiergedränge ausweichen, sowie den Schieber übersteigen. Bei diesen Verhaltensweisen wurde auch erfasst, ob sie mit oder ohne Schieber-Kontakt erfolgten. Die aufgezeichneten RR-Intervalle wurden den jeweiligen Tieren und deren Verhalten zugeordnet. Die Sequenzen der RR-Intervalle hatten jeweils eine Länge von 30 Sekunden ab Beginn des gezeigten Verhaltens. Zusätzlich wurde überprüft, ob die Herzaktivität sich durch den Schieberdurchgang selbst veränderte, unabhängig davon, ob die Tiere eine der erfassten Verhaltensweisen zeigten. Dafür wurden Sequenzen mit einer Länge von 1 Minute für die Zeitabschnitte „2 Minuten vor Beginn der Entmistung“, „Beginn der Entmistung“, „Ende der Entmistung“ und „2 Minuten nach Ende der Entmistung“ für jede Kuh und für jeden Entmistungsvorgang erhoben.

Zur statistischen Auswertung wurden für alle berücksichtigten Sequenzen aus den RR-Intervallen das mittlere RR-Intervall (mRR, Mittelwert während der jeweiligen Sequenz) und die rmssd (root mean square of successive differences, Wert für die Herzratenvariabilität) berechnet. Beide Parameter zeigen durch abnehmende Werte eine zunehmende Belastung des Organismus an (VON BORELL et al. 2007). Die Analyse erfolgte auf Grundlage der berechneten mRR- und rmssd-Werte mittels linearen gemischte Effekte Modellen.

2.2 Einfluss des Entmistungszeitpunktes auf das Fressverhalten

Um zu prüfen, ob ein Entmistungsvorgang die Kühe beim Fressen stört, wurde auf 2 Betrieben bei je 12 Kühen (jeweils 4 davon Erstlaktierende) das Fressverhalten während 2 Versuchsvarianten über 48 Stunden aufgezeichnet. Als „Hauptfressphase“ wurde die Zeit von 2 Stunden ab Futtervorlage definiert, da in diesem Zeitraum laut BRADE (2002) der Großteil einer Herde mit der Futterraufnahme beschäftigt ist. Die Versuchsvarianten waren wie folgt definiert:

- mit Entmistung während der Hauptfressphase: der auf die Futtervorlage folgende Entmistungsvorgang erfolgt innerhalb 1 Stunde.
- ohne Entmistung während der Hauptfressphase: der auf die Futtervorlage folgende Entmistungsvorgang erfolgt frühestens nach 2 Stunden.

Beide Varianten wurden auf beiden Betrieben nacheinander durchgeführt. Zwischen den Varianten lag eine Adaptionsphase von 2 Wochen.

Zur Aufzeichnung des Fressverhaltens wurden die Kieferbewegungen der Kühe mit einem Drucksensor (SCHEIDEGGER 2008) erfasst. Anhand des gemessenen Druckverlaufs wurden dann Fressen, Wiederkäuen oder sonstige Aktivitäten unterschieden. Für die Datenanalyse wurden nur Kauschläge im Zusammenhang mit dem Fressen berücksichtigt und für jede Versuchsvariante die Gesamtfressdauer, die Fressaktivität in den Nachtstunden sowie die Anzahl an Fressperioden pro Versuchstag während 48 Stunden berechnet. Auch in diesem Versuch wurden die Daten mit linearen gemischte Effekte Modellen ausgewertet.

2.3 Einfluss verschiedener Schieber-Modelle auf das Verhalten der Kühe während der Entmistung

In diesem Versuch wurden die Reaktionen der Kühe bei der Konfrontation mit verschiedenen Schieber-Modellen beobachtet. Zusätzlich wurde untersucht, ob Unterschiede in den Reaktionen der Kühe auftreten, wenn sie zu ungewohnten Zeiten mit dem Schieber konfrontiert werden, und ob sich jüngere Kühe (Erstlaktierende), die noch wenig Erfahrung mit dem Schieber haben, anders verhalten als ältere Kühe.

Folgende Schieber-Modelle wurden berücksichtigt:

- Faltschieber (Abb. 1, links)
- Klapp-Kombi-Schieber niedrig (Schieberhöhe bis max. 20 cm) (Abb. 1, rechts)
- Klapp-Kombi-Schieber hoch (Schieberhöhe min. 20 cm)

Die Verhaltensbeobachtungen wurden auf 5 Betrieben pro Schieber-Modell durchgeführt. Auf jedem Betrieb wurden die Tiere während 8 Entmistungsvorgängen beobachtet. Jeweils 4 der Entmistungsdurchgänge erfolgten zu „gewohnten Entmistungszeitpunkten“ (zu dieser Zeit wurde seit mindestens einem Monat entmistet) und 4 zu „ungewohnten Entmistungszeitpunkten“ (eine Entmistung mindestens 2 Stunden vor oder nach einem gewohnten Zeitpunkt). In die Verhaltensbeobachtungen wurden jeweils alle Tiere der laktierenden Herde einbezogen. Dabei wurde zwischen „junge Kuh“ (Erstlaktierende) und „ältere Kuh“ (Kühe ab der 2. Laktation) unterschieden. Erfasste Verhaltensweisen waren: dem Schieber ausweichen, den Schieber übersteigen, das Fressen unterbrechen oder beenden, um den Schieber zu übersteigen oder ihm auszuweichen, den Schieber während des Fressens übersteigen, ohne das Fressen zu unterbrechen, „Kritische Situationen“

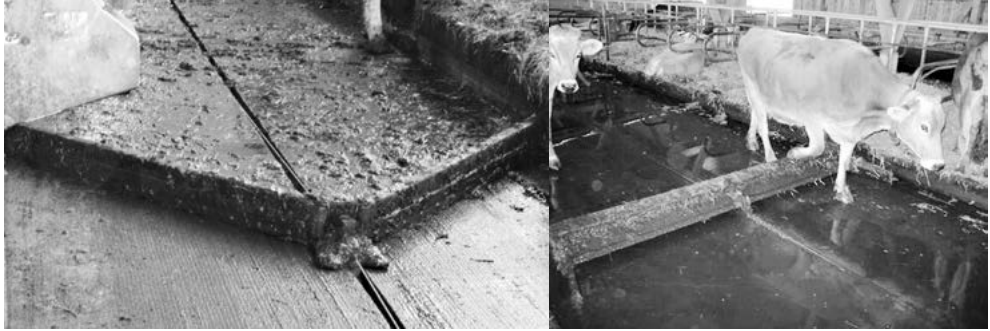


Abb. 1: Faltschieber in Vorwärtsfahrt (links). Die beweglichen Seitenteile klappen in Rückwärtsfahrt zur Mitte hin zusammen. Klapp-Kombi-Schieber (rechts) in Rückwärtsfahrt. Hier klappen nur die kurzen seitlichen Flügel nach innen.

Fig. 1: V-blade scraper in onward movement (left side). In backward movement, the two arms move close together in the middle of the alley. Straight-blade scraper in backward movement (right side). This type has only short moveable arms.

(Stolpern über den Schieber, beim Übersteigen oder Ausweichen ins Stolpern geraten, durch den Schieber in Sackgassen gedrängt werden). Bei allen Verhaltensweisen wurde unterschieden, ob sie mit oder ohne Schieber-Kontakt erfolgten. Zusätzlich wurden vor und nach jedem Entmistungsvorgang die Tiere gezählt, die sich auf der Schieber-Bahn befanden.

Für die Auswertung der Daten wurden alle Verhaltensweisen außer „Kritische Situationen“ zusammengefasst zu „Verhalten mit Schieber-Kontakt“ und „Verhalten ohne Schieber-Kontakt“. Die „Kritischen Situationen“ wurden gesondert ausgewertet. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte wiederum mit linearen gemischte Effekte Modellen.

3 Ergebnisse

3.1 Veränderungen der Herzaktivität während der Entmistung

Bei den Vergleichen der beiden Parameter mRR und rmssd jeweils zwischen den Zeitpunkten „2 Minuten vor Beginn der Entmistung“, „Beginn der Entmistung“, „Ende der Entmistung“ und „2 Minuten nach Ende der Entmistung“ war kein Einfluss der unterschiedlichen Zeitpunkte festzustellen (mRR: $F_{3,84} = 0.55$, $p = 0.65$; rmssd: $F_{3,84} = 2.25$, $p = 0.09$).

Für einige Verhaltensweisen (halb in der Box stehen, liegen, stehen/gehen und in der Box stehen) waren die rmssd-Werte während des Schieberdurchgangs, verglichen mit Kontrollsituationen ohne Entmistung, erniedrigt ($F_{1,114} = 4.96$, $p = 0.028$; Abb. 2). Die mRR-Werte unterschieden sich für diese Verhaltensweisen nicht signifikant zwischen Situationen während eines Entmistungsdurchgangs und Situationen ohne Entmistung ($F_{1,114} = 0.48$, $p = 0.49$). Zwischen den Kühen in der ersten Laktation und älteren Kühen konnten keine Unterschiede bezüglich rmssd- und mRR-Werten registriert werden ($F_{1,25} = 4.01$, $p = 0.056$).

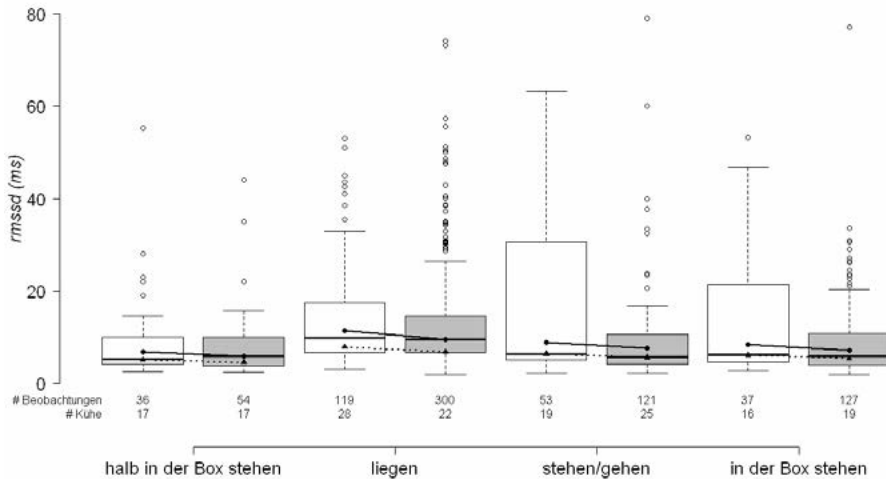


Abb. 2: rmssd-Werte (Angabe in Millisekunden, ms) für die verschiedenen Verhaltensweisen jeweils außerhalb (weiß) und während (grau) der Entmistungsvorgänge. Die durchgezogenen Linien zeigen die Modellschätzwerte für die „älteren Kühe“ an, die gestrichelten Linien diejenigen für die Erstlaktierenden. Angegeben ist auch der Stichprobenumfang betreffend Anzahl Beobachtungen und Anzahl Kühe.
 Fig. 2: rmssd-values (milliseconds) for several behavioural elements in periods without manure scraping (white) and during manure scraping periods (grey). Model estimates for older (solid line) and first lactating (dotted line) cows are given separately. Sample sizes regarding number of observations and number of cows are indicated, too.

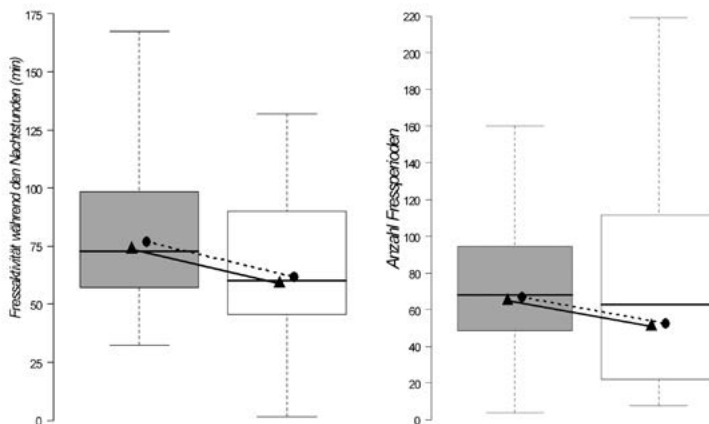


Abb. 3: Dauer der Fressaktivität pro Kuh während den Nachtstunden (links) und Anzahl Fressperioden pro Kuh (rechts) jeweils in der Versuchsvariante mit (grau) und ohne (weiß) Entmistung in der Hauptfressphase. Die durchgezogene Linie zwischen den Boxen zeigt die Modellschätzwerte für „ältere Kühe“, die gestrichelte Linie diejenigen für Erstlaktierende.
 Fig. 3: Duration of feeding time per cow during night-time (left side) and number of feeding bouts per cow (right side), each for the version with manure scraping during main feeding time (grey) and the version without manure scraping during main feeding time (white). Model estimates for older (solid line) and first lactating (dotted line) cows are given separately.

3.2 Einfluss des Entmistungszeitpunktes auf das Fressverhalten

Die Fressaktivität während der Nachtstunden erhöhte sich signifikant von 60,3 Minuten während der Versuchsvariante ohne Entmistung in der Hauptfressphase auf 75,2 Minuten während der Versuchsvariante mit Entmistung in der Hauptfressphase ($F_{1,19} = 4.42$, $p = 0.05$, Abb. 3, links). Die Anzahl an Fressperioden stieg signifikant von 51,7 während der Versuchsvariante ohne Entmistung in der Hauptfressphase auf 65,9 während der Versuchsvariante mit Entmistung in der Hauptfressphase an ($F_{1,19} = 5.07$, $p = 0.04$, Abb. 3, rechts). Bezüglich der Gesamtfressdauer konnten keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden ($F_{1,19} = 0.08$, $p = 0.78$). Die Unterschiede zwischen den „älteren Kühen“ und den Erstlaktierenden waren nicht signifikant (Fresszeit während der Nachtstunden: $F_{1,19} = 0.15$, $p = 0.70$; Anzahl Fressabschnitte: $F_{1,19} = 0.01$, $p = 0.91$).

3.3 Einfluss verschiedener Schieber-Modelle auf das Verhalten der Kühe während der Entmistung

Ein Einfluss der Schieber-Modelle auf die Reaktionen der Kühe bei Tier-Schieber-Konfrontationen konnte nicht nachgewiesen werden (Verhaltensweisen mit Schieber-Kontakt: $F_{2,12} = 0,57$, $p = 0.58$; Verhaltensweisen ohne Schieber-Kontakt: $F_{2,12} = 0,32$, $p = 0.73$). Die Reaktionen der Kühe wurden hauptsächlich beeinflusst von der Anzahl an Tieren, die sich vor der Entmistung auf der Schieber-Bahn aufhielt. So nahmen sowohl die Verhaltensweisen mit Schieber-Kontakt ($F_{1,123} = 5,84$, $p = 0.02$) als auch diejenigen ohne Schieber-Kontakt ($F_{1,123} = 4,96$, $p = 0.03$) mit zunehmender Anzahl an Tieren auf der Schieber-Bahn ab. Die Häufigkeit der „Kritischen Situationen“ wurde weder vom Schieber-Modell, noch von der Anzahl an Tieren auf der Schieber-Bahn beeinflusst. Auch zwischen Erstlaktierenden und älteren Kühen gab es diesbezüglich keine Unterschiede.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Bei den Herzaktivitätsmessungen waren die rmsd-Werte für einige Verhaltensweisen, wie das Liegen oder Stehen, während der Entmistung niedriger als außerhalb der Entmistungszeiten. Weder auf die rmsd-Werte, noch auf die mittleren RR-Intervalle konnte jedoch ein Einfluss der Tier-Schieber-Kontakte oder des Entmistungsvorganges während des Fressens nachgewiesen werden. Die rmsd stellt einen Parameter der Herzratenvariabilität dar. Sie ist ein Maß für physische und psychische Belastung eines Organismus und ihr Wert umso niedriger, je größer die Belastung ist. Die rmsd gilt als etablierter Indikator für Stress bei Tieren (HILLMANN et al. 2007; MOHR et al. 2002; RIETMANN et al. 2004). Die in der vorliegenden Studie festgestellten Unterschiede der rmsd-Werte waren zwar gering, jedoch systematisch feststellbar. Daraus lässt sich folgern, dass die Kühe den Entmistungsvorgang negativ wahrnehmen, dadurch aber nicht stark belastet werden. Bei der Untersuchung des Fressverhaltens wurde deutlich, dass die Tiere durch die Entmistung während der Hauptfressphase gestört werden. Die unveränderte Gesamtfressdauer deutet darauf hin, dass diese Störung von den Tieren kompensiert werden kann. Es empfiehlt sich jedoch, Störungen bei der Futteraufnahme zu vermeiden, da bei

Milchkühen das Risiko für Stoffwechselerkrankungen sehr hoch und ein Hauptrisikofaktor für diese Erkrankungen die Fütterung ist (KRAUSE und OETZEL 2006; WEISS 2005; WINCKLER und BREVES 1998).

Die Anzahl Tiere auf der Schieber-Bahn beeinflusst die Tiere stärker in ihrem Verhalten als die Art des Entmistungsschiebers. Zusammen mit den nur geringen Unterschieden, die bei der Herzaktivität und beim Fressverhalten gefunden wurden, kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass praxisübliche Entmistungsschieber als tiergerecht beurteilt werden können. Im Hinblick auf die Tiergerechtigkeit ist jedoch das Management der Entmistungsvorgänge von Bedeutung. So sollte der Schieber nicht während der Hauptfresszeit oder zu Zeiten mit erhöhter Tieraktivität betätigt werden.

Literatur

- Borell, E. von; Langbein, J.; Després, G.; Hansen, S.; Leterrier, C.; Marchant-Forde, J.; Marchant-Forde, R.; Minero, M.; Mohr, E.; Prunier, A.; Valance, D.; Veissier, I. (2007): Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – A review. *Physiology and Behavior*, 92, S. 293–316
- Brade, W. (2002): Verhaltenscharakteristika des Rindes und tiergerechte Rinderhaltung. *Der praktische Tierarzt*, 83, 8, 716–723
- Hillmann, E.; Furger, M.; Roth, B. A.; Stauffacher, M. (2007): Lassen Veränderungen von Herzfrequenz und -variabilität während des Saugens bei Aufzuchtälbern auf einen Beruhigungseffekt schliessen? In: *KTBL [Hrsg.]: Aktuelle Arbeiten zur artgemässen Tierhaltung. KTBL-Schrift 461, KTBL, Darmstadt*, 33–41
- Krause, K. M.; Oetzel, G. R. (2006): Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 126, 3–4, S. 215–236
- Mohr, E.; Langbein, J.; Nürnberg, G. (2002): Heart rate variability – A noninvasive approach to measure stress in calves and cows. *Physiol Behav*, 75, 251–259
- Rietmann, T. R.; Stuart, A. E. A.; Bernasconi, P.; Stauffacher, M.; Auer, J. A.; Weishaupt, M. A. (2004): Assessment of mental stress in warmblood horses: heart rate variability in comparison to heart rate and selected behavioural parameters. *Applied Animal Behaviour Science*, 88, –, 121–136
- Scheidegger, A. (2008): *Klassifikation des Fressverhaltens von Kühen*. Zürich
- Weiss, J. (2005): *Tierproduktion*. Parey Verlag Stuttgart
- Winckler, C.; Breves G. (1998): Grenzen der Milchleistungszucht aus physiologischer Sicht. *Tierärztliche Umschau*, 53, 3, 119–122

Drinking behaviour of suckler heifers around calving period

Wasseraufnahme von Kalbinnen in der Zeit um die Kalbung in der Mutterkuhhaltung

JULIANA MAČUHOVÁ, CHRISTINA JAIS, PETER OPPERMANN, GEORG WENDL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Prof.-Dürrwaechter Platz 2, 95586 Poing

Keywords: water intake, suckler heifers, calving period
Schlüsselwörter: Wasseraufnahme, Kalbinnen, Kalbung

Summary

The aim of this study was to evaluate the water intake of suckler heifers around calving. Therefore, the water intake of German Simmental and German Yellow suckler heifers (altogether $n = 9$) was evaluated during two weeks before calving (day -14 to -1), at calving day (day 0), and during two weeks after calving (day 1 to 14). The day had no significant effect ($P > 0.05$) on all examined parameters during the period before calving. The changes in drinking behaviour occurred mostly after calving. A significant increase ($P < 0.05$) in daily free water intake, daily duration of drinking, and daily number of drinking bouts could be observed. Average daily number of drinking events as well as average water intake per drinking event did not differ ($P > 0.05$) between periods. Certain drinking behaviour parameters change significantly after calving. Therefore, an indication to a forthcoming calving could not be given. However, the drinking behaviour may be an useful tool for the monitoring and the management of the individual animals.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, die Wasseraufnahme von Kalbinnen in der Mutterkuhhaltung in der Zeit um die Kalbung zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde die Wasseraufnahme von Kalbinnen der Rassen Gelbvieh und Fleckvieh (insgesamt $n = 9$) im Zeitraum von zwei Wochen vor der Kalbung (Tag -14 bis -1), am Kalbungstag (Tag 0) und im Zeitraum bis zwei Wochen nach der Kalbung (Tag 1 bis 14) untersucht. Der Tag hatte während des Zeitraums vor der Kalbung keinen signifikanten Einfluss ($P > 0.05$) auf alle untersuchten Parameter. Änderungen im Trinkverhalten konnten nur nach der Kalbung beobachtet werden. Nach der Kalbung erhöhte sich signifikant ($P < 0.05$) die tägliche Wasseraufnahme, die tägliche Dauer des Trinkens und die tägliche Anzahl der Trinkvorgänge. Die tägliche Anzahl der Tränkebesuche sowie die Wasseraufnahme pro Tränkebesuch unterschieden sich nicht signifikant ($P > 0.05$) zwischen den getesteten Zeiträumen. Bestimmte Trinkverhaltensparameter ändern sich signifikant nach der Kalbung. Ein Hinweis auf eine bevorstehende Kalbung konnte damit nicht gegeben werden, allerdings kann das Trinkverhalten ein nützliches Hilfsmittel für die Überwachung und das Management der einzelnen Tiere sein.

1 Introduction

Cattle require large amount of water every day. Several factors affecting water intake have been identified in cattle (WINCHESTER and MORRIS, 1956; MURPHY et al., 1983; HOLTER and URBAN, 1992; DAHLBORN et al., 1998; MEYER et al., 2004; LARDY et al., 2008). One factor that influences water intake of animals is physiological stage (i.e. lactation, fetal growth or body growth) of animals. For example a pregnant or lactating animal will consume more than a nonpregnant, nonlactating (LARDY and STOLTENOW, 1999). There is very little information available concerning drinking behaviour of suckler-cow herds. Moreover, the majority of the available information is for typical beef cattle. However, ever more frequently also dual-purpose breeds are used for beef rearing. Due to better genetic potencial for milk production, higher milk yield and in consequence higher water requirement can be expected. Already a previous study shows that water requirement of suckler cows and heifers of dual purpose breeds can be underestimated using requirement values for beef cattle (MAČUHOVÁ et al., 2011).

In animal husbandry, the possibilities for automatic recording of different behaviour or performance parameters for individual animals are increasing. Obtained online information can be applied for management of individual animals (e.g. by feeding to meet individual animal requirements) and also for the monitoring of individual animals (e.g. deviations from normal behaviour and/or performance could help to detect some health problems). In cattle, drinking behaviour obtained from automatically recorded data may be one of useful data input for these purposes. However, therefore the knowledge of normal drinking behaviour in different physiological stages and also different animal categories are required.

The aim of this study was to evaluate drinking behaviour of suckler heifers of dual-purpose breeds around calving period during indoor winter period with aim to monitor changes in drinking behaviour in this time frame.

2 Material and Methods

The water intake was evaluated in 9 suckler heifers of German Yellow and German Simmental breeds during three periods (period before calving (day -14 to -1 before calving day)), calving day (day 0), and period after calving (day 1 to 14 after calving day). The recording of water intake was performed during one winter period. The heifers were kept together with other animals of suckler cow herd in cold loose housing systems in two groups (according to breed) of around 35.2 ± 8.0 (mean \pm SD) animals (German Yellow breed) and 44.8 ± 9.6 (German Simmental breed), resp. Only shortly before and after calving they were kept in calving pens (one for every group). They had free access to grass silage and hay. Animals were fitted with electronic ear tags (Daisy 530, AGRIDENT®) for individual animal identification. To record the water intake, individual drinking bowls (Texas Trading®) fitted with in-line flow meters (BIOTECH®) and an antenna for animal identification were used. At least two of them (one in calving pen) were available for both groups. The maximal volume of the drinking bowl was 1,9 l and the maximal flow rate 11,4 l/min.

One drinking event was recorded when at least one impulse was registered by flow meter and the interruption in drinking was not longer than 5 s. Two separate drinking bouts (drinking events clustered in time) were defined when at least 2.5 min were spent to next drinking (MAČUHOVÁ et al., 2011). Each recorded drinking visit to drinking bowl produced a data log consisting of animal identification, time of visit, duration of drinking, and amount of water consumed. These data were used to calculate other parameters such as daily free water intake, daily duration of drinking, daily number of drinking events, daily number of drinking bouts, drinking rate, water intake per drinking event and water intake per drinking bout. To test the effect of period (before calving, calving day, and after calving), the one way repeated measures analysis of variance applying of Tukey's adjustment for multiple comparison (SigmaPlot®) was used. The effect of day during period before calving and during period after calving was tested using Friedman test. Box plots were used to present the results. The statistical values presented in box plots are shown in Figure 1.

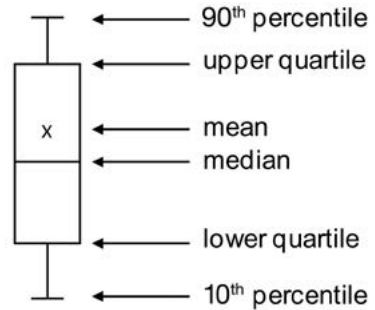


Fig.1: The statistical values presented in box plots

Abb. 1: Statistische Werte dargestellt in box plots

3 Results and Discussion

The period around calving (transition period) of cows is associated with a number of physiological changes (increasing demands of the foetus, the development of mammary gland, the initiation of milk synthesis), metabolic, and nutritional changes (ELLIOT, 2010). It can be expected, that these changes result also in changes in drinking behaviour.

Drinking behaviour parameters in suckler heifers around calving are shown in Table 1. The distributions of values of some examined drinking behaviour parameters during entire tested time frame are shown in Figure 2 to Figure 6. Before calving, the day had no significant effect on all examined parameters ($P \geq 0.05$). The drinking behaviour did not change notably during two weeks before calving and it was not possible to recognise forthcoming calving. If changes in drinking behaviour occur in response to forthcoming calving, than probably only in short time frame before calving. Also the study of RAYA et al. (2009) showed that the changes in behaviour parameters (e.g. lying) could be observed mainly during 24 hours before calving in dairy cows.

After calving, the day had significant effect ($P < 0.05$) on daily duration of drinking and drinking rate. By daily free water intake, the day tended to have an effect ($P = 0.056$). Daily duration of drinking and also daily free water intake seems to increase with increasing day after calving, contrariwise drinking rate seems to decrease. It can be expected, that milk production increases with increasing day of lactation and therewith also daily free water intake in the early stage of lactation. However, daily duration of drinking is influenced, in addition to daily free water intake, also by drinking rate. The

drinking rate was highest in the first days after calving. This can explain relatively low daily duration of drinking in spite of increased daily free water intake in the first days after calving. Increased daily water intake without adequate increase in daily drinking time could be compensated by higher drinking rate.

Tab. 1: Drinking behaviour parameters (mean±SD) in suckler heifers around calving

Tab. 1: Trinkverhalten von Kalbinnen (Mittelwert±SD) in der Zeit um die Kalbung

Items	Period			P-value
	before calving	calving day	after calving	
Daily free water intake (l)	27.0 ± 10.6 ^a	28.6 ± 13.1 ^a	40.4 ± 9.4 ^b	< 0.05
Daily duration of drinking (min)	7.9 ± 9.4 ^a	5.9 ± 5.5 ^b	9.4 ± 5.0 ^c	< 0.05
Drinking rate (l/min)	3.5 ± 0.8 ^a	5.2 ± 1.7 ^b	4.3 ± 1.3 ^a	< 0.05
Daily number of drinking events	13.8 ± 10.8	12.6 ± 10.4	14.4 ± 7.8	ns
Daily number of drinking bouts	7.8 ± 5.6 ^a	8.1 ± 6.2 ^{ab}	10.0 ± 4.3 ^b	< 0.05
Water intake per drinking event (l)	2.6 ± 1.2	3.2 ± 1.8	3.2 ± 1.2	ns
Water intake per drinking bout (l)	4.0 ± 1.1	4.0 ± 1.4	4.3 ± 1.0	ns

ns P > 0.05

^{a,b,c} Means with different superscript letters in the same row differ significantly (P < 0.05)

^{a,b,c} Mittelwerte mit verschiedenen Hochbuchstaben in einer Zeile unterscheiden sich signifikant (P < 0.05)

From the tested parameters, the period had a significant effect (P < 0.05) on daily free water intake, daily duration of drinking, drinking rate, and daily number of drinking bouts (Table 1). Daily free water intake was significantly higher after calving. No difference in daily free water intake was observed between the period before calving and at calving day. Daily duration of drinking differed significantly between all periods. It was lowest at calving day and highest after calving. Interestingly, drinking rate was higher at calving than before and also after calving. Because of missing data about exact calving time, it is not possible to declare when changes in drinking rate started (if already also before calving) at calving day. But as previously mentioned, increased drinking rate was observed not only at calving day, but also during few days after calving. It can be that maternal behaviour (perhaps effort of dams to let the new born calves without care the least time as possible) lead to this effect in first postpartum days.

The average daily number of drinking events as well as water intake per drinking event did not differ between periods. Individual animals seem to react different. Whereas in some animals, an increase of both parameters could be observed, in some animals only increase in number of drinking events and in other animals increase in water intake per drinking event was monitored. However, whereas daily number of drinking events was lower after calving than before in few animals, water intake per drinking event remained comparable or was even higher in all animals.

Daily number of drinking bouts differed significantly (P < 0.05) before and after calving. This means that distribution of drinking events differed between these periods and less drinking events were included in one drinking bout after calving than before calving. Similarly also in dairy cows, the daily number of drinking bouts increased after

calving (HUZZEY et al., 2005). However, no information is available about daily number of drinking events in that study.

In conclusion, the changes in drinking behaviour occurred mostly after calving. It can be expected that these changes were caused, first of all, by the increase in water requirement due to start of lactation. But also the maternal behaviour may modify the drinking behaviour. The evaluated data show, that a sensor-based recording of drink-

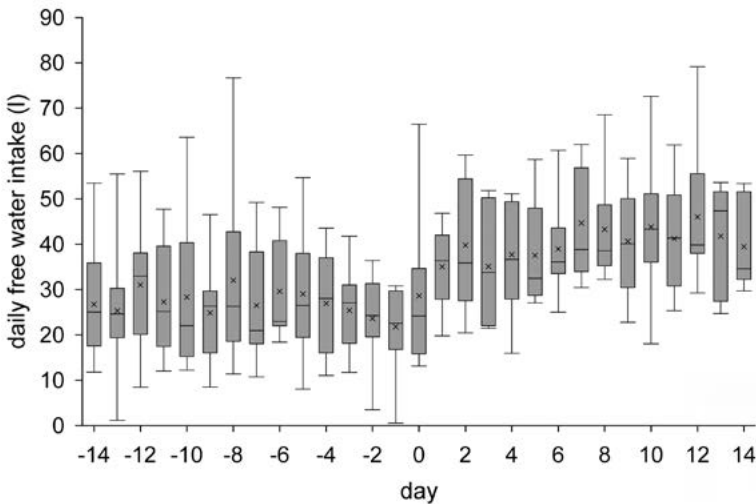


Fig. 2: Daily free water intake in suckler heifers around calving (0 = day of calving)

Abb. 2: Tägliche Wasseraufnahme von Kalbinnen in der Mutterkuhhaltung in der Zeit um die Kalbung (0 = Kalbungstag)

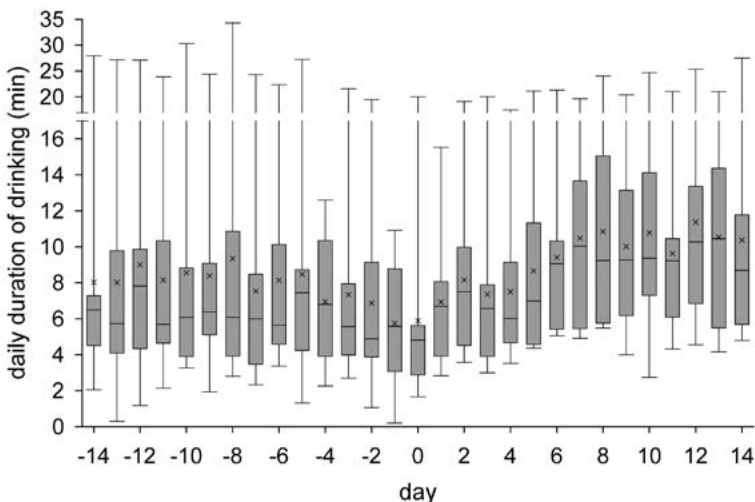


Fig. 3: Daily duration of drinking in suckler heifers around calving (0 = day of calving)

Abb. 3: Tägliche Dauer des Trinkens von Kalbinnen in der Mutterkuhhaltung in der Zeit um die Kalbung (0 = Kalbungstag)

ing behaviour data with evaluation of particular parameters can be an useful tool for monitoring and management of individual animals for certain purposes (e. g. no increase in water intake after calving or abrupt decrease in water intake during lactation could signalise the health problems of dams or their calves). Also study of LUKAS et al. (2008) indicated that there exists a relationship between water intake and health problems in dairy cows and automated recording of water intake may provided a basis for cow health monitoring.

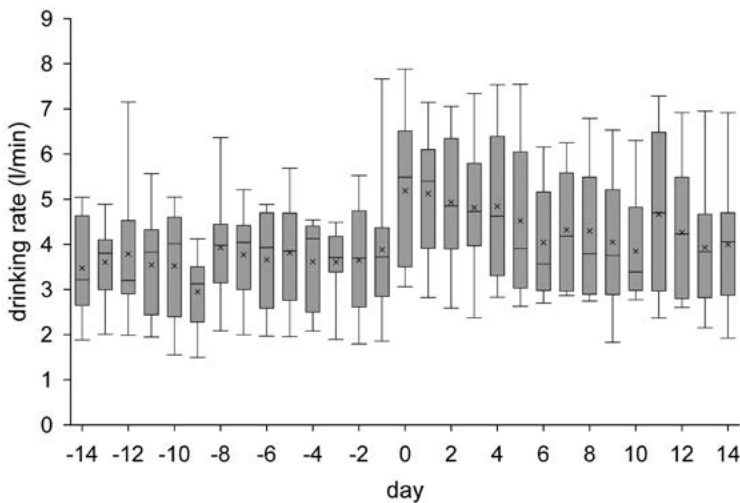


Fig. 4: Drinking rate in suckler heifers around calving (0 = day of calving)
 Abb. 4: Trinkgeschwindigkeit von Kalbinnen in der Mutterkuhhaltung in der Zeit um die Kalbung (0 = Kalbungstag)

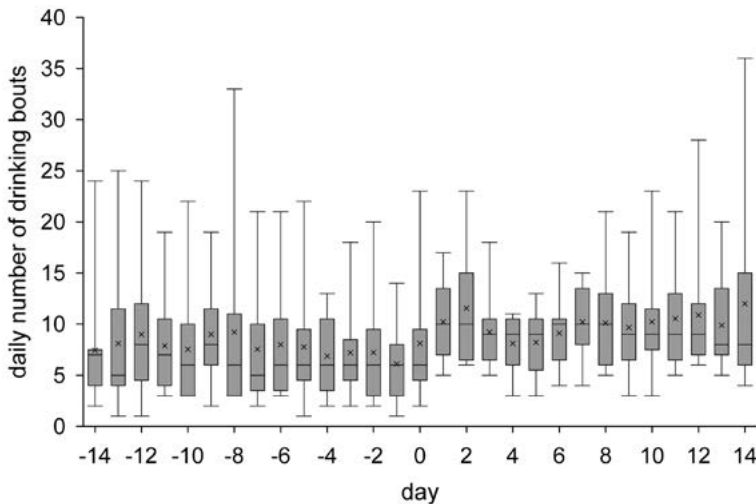


Fig. 5: Daily number of drinking bouts in suckler heifers around calving (0 = day of calving)
 Abb. 5: Tägliche Anzahl der Tränkvorgänge von Kalbinnen in der Mutterkuhhaltung in der Zeit um die Kalbung (0 = Kalbungstag)

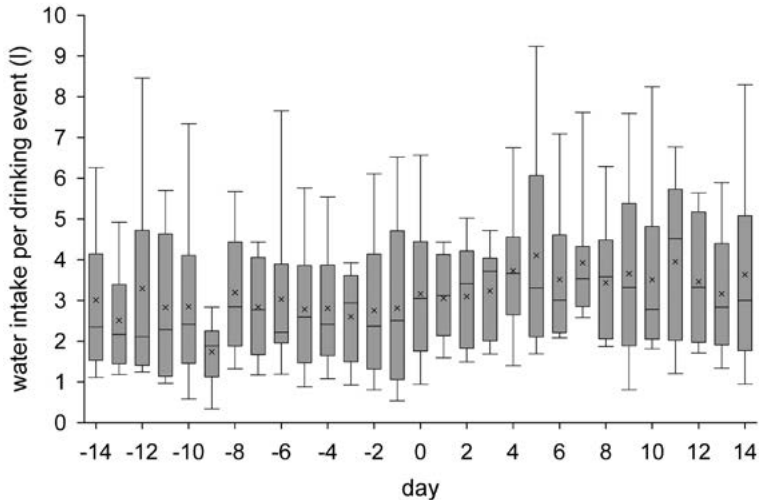


Fig. 6: Water intake per drinking event in suckler heifers around calving (0 = day of calving)

Abb. 6: Wasseraufnahme pro Tränkebesuch von Kalbinnen in der Mutterkuhhaltung in der Zeit um die Kalbung (0 = Kalbungstag)

References

- Block, E. (2010): Transition cow research – What make sense today? 2010 High Plains Dairy Conference, Amarillo, Texas, 75-98, http://www.highplainsdairy.org/2010/18_Block_Transition%20CowResearch_FINAL.pdf (online available 02.05.2011)
- Dahlborn, K.; Akerlind, M.; Gustafson, G. (1998): Water intake by dairy cows selected for high of low milk-fat percentage when fed two forage to concentrate rations with hay or silage. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 28, 167-176
- Holter, J. B.; Urban, W. E. Jr. (1992): Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 75, 1472-1479
- Huzzey, J. M.; von Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M. (2005): Changes in feeding, drinking, and standing behaviour of dairy cows during the transition period. *Journal of Dairy Science*, 88, 2454-2461
- Lardy, G.; Stoltenow, Ch. (1999): *Livestock and water*. North Dakota State University Agriculture and University Extension, Morrill Hall, Fargo, AS-954, 12 pp., <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/livestoc/as954w.htm> (online available 10.01.2011)
- Lardy, G.; Stoltenow, Ch.; Johnson, R. (2008): *Livestock and water*. NDSU Extension Service, North Dakota State University, AS_954, 7 <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/h2oqual/watanim/as954.pdf> (online available 19.01.2011)
- Lukas, J. M.; Reneau, J. K.; Linn, J. G. (2008): Water intake and dry matter intake changes as a feeding management tool and indicator of health and estrus status in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91, 3385-3394
- Mačuhová, J.; Jais, Ch.; Oppermann, P.; Wendl, G. (2011): Drinking behaviour of suckler-cow herds of dual-purpose breed during winter indoor period. Submitted to 5th European Conference on Precision Livestock Farming (11-14th July, Prague)

- Meyer, U.; Everinghoff, M.; Gädeken, D.; Flachowsky, G. (2004): Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science*, 90, 117–121
- Murphy, M. R.; Davis, C. L.; McCoy, G. C. (1983): Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 66, 35–38
- SigmaPlot (2008): SigmaPlot® 11.0, Systat Software Inc.
- Raya, S.; Hasselmann, L.; Balzer, H.-U.; Kaufmann, O. (2009): In KTBL (Hrsg.): Sensor-gestütztes Monitoring zur Vorhersage des Geburtstermins und des Geburtsverlaufes bei Milchkühen. 9. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2009, KTBL, Darmstadt, 89–94
- Winchester, C. F.; Morris, M. J. (1956): Water intake rate of cattle. *Journal of Animal Science*, 15, 722–740

Auslaufnutzung von Masthühnern unterschiedlicher Wachstumsintensitäten

Use of free range by broilers with different growth intensities

GERRIET TREI¹, BERNHARD HÖRNING¹, SABINE GEBHARDT-HENRICH²

¹ Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH), Fachgebiet Ökologische Tierhaltung, Friedrich-Ebert-Str. 28, 16225 Eberswalde, Deutschland

² Zentrum für tiergerechte Haltung Geflügel und Kaninchen (ZTHZ), Außenstelle des Bundesamtes für Veterinärwesen, Bürgerweg 22, 3052 Zollikofen, Schweiz

Schlüsselwörter: Broiler, Mastintensität, Auslaufnutzung

Keywords: broiler, growth intensity, free range

Zusammenfassung

Entsprechend der EU-Bio-Verordnung (889/2008) muss Masthühnern in ökologischen Haltungssystemen Zugang zu einem Grünauslauf gewährt werden. Darüber hinaus sind langsam wachsende Herkünfte einzusetzen, anderenfalls gilt ein Mindestschlachtalter von 81 Tagen.

Ziel der Untersuchung war, Hybrid- und Rasseherkünfte von Masthühnern unterschiedlicher Mastintensität bzgl. ihrer Eignung für den Öko-Landbau zu überprüfen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde insbesondere die Auslaufnutzung mit Hilfe von Direktbeobachtungen und dem Einsatz eines Transpondersystems erfasst.

Summary

According to the EU regulation for organic production (EC No. 889/2008), organic broilers must have access to outside runs. Furthermore, broilers shall either come from slow-growing strains or reach a minimum slaughter age of 81 days.

However "slow-growing" is not defined in the regulation. This is assigned to competent authorities of member states.

Aim of the study was thus to compare outdoor use of broilers strains with different growth intensities.

1 Allgemeines

Im Rahmen einer Stationsprüfung an der Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung Großkreutz-Ruhlsdorf (Brandenburg) wurden Masthühner unterschiedlicher Wachstumsintensitäten bzgl. ihrer Eignung für den ökologischen Landbau unter standardisierten Umweltbedingungen untersucht.

Zur Überprüfung der Eignung wurde eine Vielzahl an Untersuchungsparametern aus den Bereichen Tiergesundheit, Tierverhalten, Wirtschaftlichkeit und Produktqualität herangezogen (u. a. Mast- und Schlachtleistungen, Lauffähigkeit, Verletzungen, Tagesaktivitäten, Sitzstangen- und Auslaufnutzung).

Parallel wurden die gleichen Herkünfte von dem Kooperationspartner, der Universität Kassel, Fachgebiet Nutztierethologie und Tierhaltung, auf Praxisbetrieben untersucht.

2 Methoden

Insgesamt 1500 Masthühner aus 7 Mastherkünften – gruppiert in 4 Wachstumsintensitäten – wurden in zwei aufeinanderfolgenden Mastdurchgängen auf ein Gewicht von 2,5 kg gemästet (Tab. 1).

Der erste Durchgang erfolgte im Sommer 2008 (April–Juli), der zweite im Herbst 2008 (Juli–November). Die Tiere wurden in Abteilen mit jeweils 50 Individuen gehalten (insgesamt 30 Gruppen). Die Tiere hatten Zugang zu einem überwiegend begrünten Auslauf, der i. d. R. von 8 bis 17 Uhr geöffnet war.

Die Auslaufnutzung wurde im Sommer-Durchgang durch Direktbeobachtungen erfasst. Sowohl die Anzahl, als auch der Standort der Tiere im Auslauf (4 Zonen) wurde fünfmal täglich (9, 11, 13, 15, 17 Uhr) an 12 Tagen über einen siebenwöchigen Zeitraum (16.5.–25.6.2008) erfasst.

Im Herbst-Durchgang wurde in 6 Abteilen ein Transponder-System (RFID) für die automatische Erfassung der Auslaufnutzung eingesetzt (Gantner Pigeon System, Österreich). Eine Wetterstation wurde eingesetzt u. a. zur Erfassung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie Temperatur, Luftfeuchte und Niederschlägen.

Tab. 1: Mastherkünfte und Anzahl untersuchter Gruppen in beiden Mastdurchgängen

Tab. 1: *Broilerstrains and number of groups in both fattening periods*

Wachstumsintensität (tägliche Zunahmen)	Herkunft	Beschreibung/Typ	Anzahl der Gruppen (insgesamt 30)		
			Sommer	Herbst	Insgesamt
20–25 g	Brahma	Rassegeflügel	2		2
	Cochin	Rassegeflügel	2	2	4
30–35 g	Sasso	SA 31 x X44	2	3	5
	Kabir	Labelle Rouge	2	3	5
40–45 g	Olandia	Kosmos 22/8	2	3	5
	Hubbard	JA 757	2	3	5
> 60 g	Ross	308	2	2	4

3 Ergebnisse

Direktbeobachtungen

Die Gesamtnutzung der Ausläufe war gering. Von 586 Abteilzählungen an 12 Tagen war in 78,3 % der Fälle kein Tier im Auslauf. Je Zählung ergibt sich ein Durchschnitt von nur 1,05 Tieren je Gruppe (Standardabweichung 2,924, Median 0,0). In 83 % der Fälle hielten sich die Tiere in der stallnahen Zone auf. Im Mastverlauf war jedoch ein Anstieg der Auslaufnutzung festzustellen. Die Nutzung war um 9 Uhr am höchsten.

Die durchschnittliche Auslaufnutzung betrug für die Herkünfte Cochin, Brahma, Kabir, Sasso, Olandia, Hubbard und Ross 4,38 %, 1,09 %, 2,45 %, 1,95 %, 0,61 %, 1,54 % und 0,04 %.

Transponder-System

Insgesamt wurden 20 102 Erkennungen aus 70 Tagen ausgewertet (287,2 Nutzungen pro Tag). Im Durchschnitt hielten sich die Tiere je Aufenthalt 17,7 Minuten im Auslauf auf. Große Unterschiede wurden auf Einzeltierebene in den beobachteten Abteilen festgestellt. Viele Tiere nutzten den Auslauf gar nicht, andere hingegen sehr häufig (Maximum 73-mal an einem Tag). Es bestand eine positive Beziehung zwischen Anzahl Tieren im Auslauf und mittlerer Aufenthaltsdauer. Die Auslaufnutzung war höher im Sommer als im Herbst; dabei wurden Zusammenhänge mit Wetterparametern gefunden.

4 Schlussfolgerungen

Insgesamt war die Auslaufnutzung sehr gering. Allerdings bestanden auch innerhalb der Herkünfte große Schwankungen zwischen den Einzeltieren. Die schnell wachsende Herkunft nutzten die Ausläufe am wenigsten.

Danksagung

Die Untersuchung wurde durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung gefördert.

Maschinelle Milchgewinnung und Infektionsrisiko der bovinen Milchdrüse – Eine Übersicht

Machine milking and infection risk of the bovine mammary gland – a review

JÖRN HAMANN

Platanenring 10, 24119 Kronshagen

Schlüsselwörter: Maschinelles Melken, Infektionsrisiko, Milchdrüse, Faktorenanalyse, Melktechnik

Keywords: machine milking, infection risk, mammary gland, analysis of factors

Zusammenfassung

Das maschinelle Melken trägt in erheblichem Umfang, entweder direkt oder indirekt, zu einem erhöhten Infektionsrisiko der bovinen Milchdrüse bei. Als indirekte Beeinflussung wird die Kontamination der Zitze und die mechanische Beanspruchung des Zitzengewebes angesehen, wodurch die Abwehrbereitschaft gegenüber Mastitiserregern reduziert wird. Maßnahmen zur Keimverringerung am Tier und in der Umgebung des Tieres während des Melkens und in der Zwischenmelkzeit können die Neuinfektionsrate reduzieren. Moderne Melksysteme weisen Bauelemente auf, die den Transfer von Mastitiserregern während des Melkvorganges minimieren. Unabhängig vom Melkvorgang kann eine milchleistungsbezogene Fütterung die Abwehrbereitschaft der Kuh gegen Infektionserreger stärken. Zahlreiche systemimmanente Vorteile von AMS weisen auf mögliche Verringerungen des Infektionsrisikos hin. Das tatsächliche Potenzial zur Verbesserung der Eutergesundheit, ist davon abhängig, inwieweit systemimmanente Nachteile kompensiert werden können.

Summary

Machine milking contributes substantially to the infection risk of the bovine mammary gland. Machine milking has a direct influence, as mastitis pathogens can be transferred into udder quarters. Indirect mechanisms are involved in the contamination of the teats and mechanical impairment of the teat tissue. Impaired teat tissue has a reduced defence potential versus mastitis pathogens. Measures to reduce the contamination during milking and during the inter-milking interval minimize the infection risk. Modern milking systems have constructive elements (claw piece, vacuum stabilization, diameter of pipes), and hence the transfer of pathogens is reduced. A yield related feeding regime is helpful to stabilize the immunological defence of the cow.

Automatic milking systems (AMS) are more and more accepted by the farmers. AMS have advantages and disadvantages with respect to the infection risk. If the cowman can compensate the disadvantages, AMS have a realistic chance to improve the udder health.

1 Einleitung

In zahlreichen milchwirtschaftlich hoch entwickelten Ländern werden seit mehr als 60 Jahren Anstrengungen unternommen, die Milchqualität zu verbessern. Hierzu gehört in erheblichem Umfang auch die Bekämpfung von Eutererkrankungen. Auch heute noch müssen Mastitiden als die wirtschaftlich bedeutsamsten Erkrankungen im Bereich der Milchkühhaltung bezeichnet werden. Aus Tabelle 1 gehen die Abgangsursachen von Milchkühen in Deutschland im Jahr 2009 hervor, die insgesamt 39 % ausmachen, wovon auf klinische Mastitisfälle 14,8 % entfallen (ADR, 2010).

Tab. 1: Abgangsursachen für Milchkühe in Deutschland 2009 (ADR, 2010)

Tab. 1: *Culling reasons for dairy cows in Germany 2009 (ADR, 2010)*

Abgänge insgesamt: 39 % aller MLP-Kühe	
Parameter	davon:
Sterilität	20,7 %
Mastitis	14,8 %
Geringe Leistung	6,5 %
Klauenerkrankung	10,4 %
Zucht	11,4 %

Mastitiden gelten als multifaktorielle Infektionskrankheiten der bovinen Milchdrüse. Einen wesentlichen Faktor für die Entstehung von Mastitiden macht der maschinelle Milchentzug aus. Das Grundproblem für diesen Zusammenhang besteht vermutlich darin, dass ein uniformer Zitzenbecher innerhalb einer Herde verwendet wird, sodass kaum eine Anpassung an individuelle Ausprägungen der Zitzenformen möglich erscheint. Hierdurch können das Zitzengewebe schädigende Einwirkungen Mastitiden prädisponieren, da die lokalen Abwehrmechanismen geschwächt werden (ZECCONI und HAMANN, 2006). Melkhygiene und technische Auslegung der Melkmaschine sind neben der Haltungshygiene und dem allgemeinen Management weitere Faktoren, die erheblich zu dem Infektionsrisiko der Milchdrüse beitragen können. Moderne Melkverfahren wie das automatische Melken sind heute mit Techniken ausgerüstet, die eine Früherkennung von Euterentzündungen ermöglichen. Nach einer kurzen Darstellung des melkbedingten Infektionsrisikos setzt sich dieser Beitrag mit Fragen der Verringerung einer melkbedingten Prädisposition von Mastitiden auseinander. Abschließend wird versucht, moderne Melksysteme, insbesondere Automatische Melksysteme, unter dem Aspekt eines Infektionsrisikos für die Milchdrüse zu beurteilen.

2 Mastitisprädisponierende Einflüsse auf Milchkühe

Gerade in den letzten Jahren konnten eine Vielzahl von Änderungen im Bereich der Milchkühhaltung beobachtet werden (HAMANN, 2002), die zumindest teilweise zu Mastitisprädispositionen führten. Beispiele hierzu finden sich in Tabelle 2.

Tab. 2: Mastitisprädisponierende Einflüsse auf Milchkühe in modernen Haltungssystemen – denkbare Erklärungsansätze

Tab. 2: *Predisposing factors for mastitis in dairy cows in modern husbandry systems – possible explanations*

Faktor	Ursache	Erklärung
Kuh	Dispositionszuwachs	Fütterungsregime Kurze Zitzen Zitzenonusabnahme
Haltungsumwelt	Florverschiebung, Mehr KNS u. Corynebakt.	Stallhaltung, Einstreumaterial, Luftfeuchte
Symptome	Atypisch, überlappend	Multifaktoriell, milde Fälle, kurzdauernd
Personalabbau	Ökonomie	Geringere Betreuungsintensität

Züchterische Maßnahmen zur Verbesserung der Melkbarkeit (größere Zitzenkanaldurchmesser, kürzere Zitzen) sowie die ganzjährige Stallhaltung von größeren Herden (> 50 Kühe) haben in Verbindung mit der Intensivierung von Automatisierungsprozessen (Fütterung, Dungentfernung, Milchgewinnung) die Prädisposition für Mastitiden erhöht (HAMANN, 2008).

3 Melkvorgangsbedingtes Infektionsrisiko

Der maschinelle Milchentzug ist über zwei grundsätzlich unterschiedliche Wirkungsmechanismen in der Lage, das Infektionsgeschehen zu beeinflussen (HAMANN, 1990).

- Direkt: Übertragung von Mastitiserregern in Milchdrüsen
- Indirekt: Zunahme der äußeren Zitzenkontamination; Abnahme der lokalen Abwehr im Zitzengewebe (Änderung des Zitzengewebestatus)

Insgesamt wird die ursächliche Beteiligung der Melkmaschine an der Neuinfektionsrate mit 6–20 % angegeben (REINEMANN, 2011).

3.1 Übertragung von Mastitiserregern

Neben der mechanischen Übertragung durch kontaminierte Zitzenbecher kommt dem funktionell durch das Auftreten von Druckdifferenzen im milchableitenden System ausgelösten Transfer von Mastitiserregern die größte Bedeutung zu. Jedes auf die Zitzenkuppe gerichtete Druckgefälle (z.B. Vakuumhöhe im Sammelstück 42 kPa, an der Zitzenkuppe 46 kPa) kann zu einer Kontamination der äußeren Haut, des Zitzenkanals oder der Zitzenzisterne führen. Zyklische und irreguläre Vakuumschwankungen und häufig auch Kombinationen aus beiden können einen auf die Zitzenkuppe gerichteten Transport von Milchpartikeln oder kontaminierten Aerosolen auslösen. Die Art des Mastitiserregers bestimmt das Erregerreservoir, den Übertragungsweg und z.B. die Wirksamkeit der Zitzendesinfektion (Tab. 3).

Tab. 3: Mastitiserreger-Reservoir (RES), Übertragung zur Melkzeit (ÜT-M) und Zitzendesinfektion nach dem Melken (ZD-Dip)

Tab. 3: Mastitis pathogen reservoir (RES), transfer during milking (ÜT-M) and teat disinfection after milking (ZD-Dip)

Mastitiserreger	RES – Intramammär	RES- Extramammär	ÜT-Melken	ZD-Dip
Kontagiöse Keime; u. a. S. aureus	+++		+++	wirksam
Prothoteken spp.		Kot +++	++	wirksam
Umweltesterreger; u. a. Str. uberis		+++	+	kaum wirksam
Sonstige Keime		+++	+	kaum wirksam

+++ sehr hoch; ++.....; + gering

3.2 Änderungen des Zitzengewebestatus

In Verbindung mit dem Milchentzug treten physiologische Änderungen des Zitzengewebestatus auf, wie Abnahme des Tonus der glatten Muskulatur mit der Folge einer verstärkten Blutversorgung der Milchdrüse und einer Abnahme der Anzahl und Stärke der Zitzenmuskel-Kontraktionen (LEFCOURT, 1982). Diese Gewebereaktionen gehen jedoch nicht mit Blutstauungen und Ödemen einher, wie experimentelle Ergebnisse der Milchgewinnung durch Einsetzen von Kanülen in den Zitzenkanal zeigten (HAMANN und MEIN, 1990). Somit ergibt sich, dass die mechanischen Kräfte des maschinellen Melkens für die Zitzengewebeänderungen, überwiegend Zirkulationsstörungen, die Ursache darstellen.

Funktionell stellt die Zitze ein Rezeptororgan, ein Auslassventil und eine Invasionsbarriere dar (HAMANN, 1991a). Zur Sicherstellung dieser physiologischen Funktionen muss die Zitzengewebeintegrität gewährleistet werden. Melkmaschinenbedingte Beeinträchtigungen des Gewebestatus sollten weitgehend vermieden werden, sodass das Zitzengewebe nach dem Melken einen ähnlichen Status wie vor der Milchgewinnung aufweist.

Die häufig auftretenden melkvorgangsausgelösten Änderungen des Zitzengewebes können in drei Kategorien eingeteilt werden: Klinisches Bild; Gewebestruktur und Zusammensetzung und physiologische Aktivität. Innerhalb jeder dieser Kategorien kann unter Berücksichtigung des zeitlichen Ablaufs in akute und chronische Reaktionen des Zitzengewebes unterschieden werden (HAMANN und MEIN, 1995).

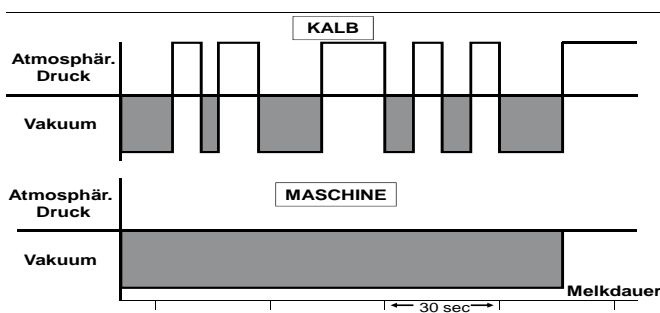


Abb. 1: Druckapplikation auf die Zitze: Vergleich von Kalb und Maschine

Fig. 1: Vacuum application on the teat: Comparison between calf and machine

Das für das maschinelle Melken notwendige permanente Vakuum im Zitzenbecherinnenraum steht im deutlichen Widerspruch zu der Aktion des Saugens des Kalbes, die von sich immer wiederholenden, intermittierenden atmosphärischen Entlastungen des Zitzengewebes geprägt ist. Die Unterschiede sind schematisiert in Abbildung 1 gegenübergestellt (HAMANN, 1991b).

3.3 Mastitisprädisponierende Faktoren zur Melkzeit und in der Zwischenmelkzeit

Hygienefaktoren aber auch andere Einflüsse wie z.B. Gewebeveränderungen können nicht nur zu einer Melkzeit sondern auch in der folgenden Zwischenmelkzeit bzw. auch für längere Zeitperioden das Mastitisrisiko ändern (HAMANN, 1989). Die Pathogenese einer Mastitis kann von der Kontamination bis zur Entzündung in vier Phasen untergliedert werden. Eine schematisierte Darstellung dieser Zusammenhänge geht aus Tabelle 4 hervor (HAMANN 2001).

Tab. 4: Mastitisprädisponierende Faktoren: Vier-Phasen-Konzept

Tab. 4: Mastitis predisposing factors: Four phases concept

Risiken	Ursachen/Beispiele
Kontamination >> Zwischenmelkzeit >> Melkzeit	>> Einstreuhygiene; Luftfeuchte >> Reinigung; Zwischendesinfektion
Invasion >> Zwischenmelkzeit >> Melkzeit	>> Umwelterreger; Hygienemängel >> Kuhassozierte Erreger; Vakuumfluktuationen
Infektion >> Zwischenmelkzeit >> Melkzeit	>> Abwehrschwäche; >> Technische und Managementmängel
Inflammation >> Permanent	>> Immunstatus; Virulenzfaktoren

Tabelle 4 verdeutlicht das multifaktorielle Geschehen der bovinen Mastitis. Je nach Phase, in der sich die Pathogenese befindet, sind Managementfaktoren, Elemente der Melkhygiene und der Melkarbeit sowie technische Mängel allein oder aber zusammen für das Auftreten von Mastitiden verantwortlich.

4 Reduktion des melkvorgangsbedingten Infektionsrisikos

Könnte die Anwesenheit von Mastitiserregern nahezu eliminiert werden, würde es so gut wie kein Mastitisproblem mehr geben. Hieraus resultiert, dass mithilfe einer wirkungsvollen Mastitisprävention einerseits eine Kontaminationsreduktion erreicht werden muss und andererseits über eine Homöostase eine effektive Abwehr von Erregern sowohl von der systemischen Seite (Kuh) als auch von der lokalen Seite (Zitze) sicherzustellen ist. Die Prinzipien einer derartigen Mastitisprävention sind in Tabelle 5 zusammengefasst (HAMANN, 1996).

Tab. 5: Prinzipien der Mastitisprävention
 Tab. 5: Principles of mastitis prevention

MASTITIS-Determinanten	MASTITIS-Prävention
Kontamination	Kontaminationsreduktion
Abwehrschwäche	Homöostase

Die Kontaminationsreduktion erstreckt sich auf eine Begrenzung der Erregerübertragung auf das Tier. Sie minimiert damit das Invasionsrisiko und die Erregerdichte in der Haltungsumwelt (u. a. Einstreu, Laufflächen, Luft, Melkstand, Melkzeug). Die Haltungsumwelt (z. B. ganzjährige Stallhaltung, Weidehaltung) beeinflusst das Erregerspektrum und den Infektionsdruck für Mastitiden in erheblichem Umfang (Cook, 2002).

Systemisch bedingte Abwehrschwächen treten nicht selten durch ungeeignete Fütterungsrationen auf. Die Vermeidung von Störungen des Leberstoffwechsels (u. a. Energiemangel oder -überschuss, Proteinüberschuss) bzw. eine der Norm entsprechende Gabe von Vitaminen und Spurenelementen steigert die immunologische Abwehrbereitschaft des Tiers gegenüber Krankheitskeimen.

Zur Gesunderhaltung der Zitzen sollte die Melkdauer so kurz wie möglich, das Vakuum so niedrig wie möglich, das Zitzengummi möglichst zitzenkonform und die Pulsierung möglichst wirksam (Reponierung der distal angestauten Flüssigkeit nach proximal) ausgelegt werden (HAMANN, 1989).

Eine Zitzendesinfektion nach dem Melken gilt als ein bewährtes Verfahren zur signifikanten Senkung der Neuinfektionsrate der Milchdrüse. Neben Jodophoren in einem Konzentrationsbereich von 1000–5000 mg/kg (ppm) sollten Zitzendesinfektionsmittel auch hautpflegende Zusätze wie Lanolin (bis 3 %) oder Glycerin (bis 10 %) enthalten. Eine Zitzendesinfektion nach dem Melken sollte als Routineverfahren in jedem Milcherzeugerbetrieb angewendet werden.

Das melkvorgangsbedingte Infektionsrisiko kann durch eine Merzung von Kühen mit chronisch erkrankten Eutervierteln bzw. nicht erfolgreich zu therapierenden Mastitiden erheblich reduziert werden.

Eine Früherkennung des melkvorgangsbedingten Infektionsrisikos kann während einer Melkzeit durch Feststellung von Kriterien des Melkvorganges, der Milchabgabe und des Zitzengewebestatus (vor/nach Melkvorgang) erfolgen. Tabelle 6 beschreibt modellhaft die Erfassung dieses Risikos (HAMANN, 2002).

Tab. 6: Feststellung des melkvorgangsbedingten Infektionsrisikos der Milchdrüse
 Tab. 6: Determination of the machine induced infection risk of the mammary gland

Melkvorgang	Milchabgabe	Zitzengewebestatus
Milchflusscharakteristik	Melkdauer (Faustzahl): 10 kg = 5 min; jede weitere 5 kg + 1 min	Cutimetermessung: Kontrolle bei 10 % der Tiere (mind. 10 Tiere)
Milchsäulenbildung		
Überflutung des Sammelstückes	Ausmelkgrad: Nachgemelk: 0,3 kg Probleme: > 0,5 kg	Adspektion/Palpation <ul style="list-style-type: none"> • Ringbildung • Ödeme • Zyanosen • Hyperkeratosen • Indurationen
Abfall von Melkzeugen	Gestörter Milchfluss: Melkzeugabfall bei max. 5 % der Kühe	
Vakuumkontrolle		

5 Trends der maschinellen Milchgewinnung

Die im Verlauf der vergangenen 50 Jahre erarbeiteten wissenschaftlichen Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen maschinellem Melken und der Eutergesundheit sind zu einem erheblichen Teil in die Praxis umgesetzt worden (u. a. Art der Sammelstücke, Vakuumstabilisierung, Milchflusskontrolle etc). Je nach Arbeitskräfte- und Kapitalverfügbarkeit wurde die Nachfrage nach Automatischen Melksystemen (AMS) geweckt. Seit 1992 sind AMS in Praxisbetrieben im Einsatz. Es wird geschätzt, dass heute in Deutschland 3000 AMS zur Milchgewinnung eingesetzt werden (PICHLER, 2011). Zwischenzeitlich liegt auch eine Deutsche Norm – DIN ISO 20966 aus dem Jahr 2008 vor, die die Anforderungen und Prüfung (ISO 20966:2007) für AMS beschreibt. Ferner hat der Gesetzgeber eine Durchführungs-Verordnung („Maßnahmenkatalog“) im Jahr 2006 erlassen, die für AMS-Betriebe besondere Maßnahmen zur Sicherung der Anforderungen an die Tiergesundheit und an die Produktionsstätten und die Ausrüstung vorsieht (BMELV, 2006).

Moderne AMS verfügen über Systeme zur Milchmengenerfassung auf Kuh und/oder Viertelebene sowie zur Leitfähigkeitsmessung auf Viertelebene. Zahlreiche Systeme erlauben die Bestimmung von Blutbeimengungen, somatischen Zellen und weiteren Milchinhaltstoffen. Automatisches Abmelken der ersten Milchstrahlen, Reinigung der Zitzen, Ansetzen der Melkbecher, milchflussgesteuerte Melkbecherabnahme und abschließende Zitzendesinfektion kennzeichnen heute die stereotypen Abläufe eines AMS-Melkvorgangs. Nach dem Melken wird in der Regel eine Zwischendesinfektion der Melkbecher durchgeführt.

Langfristig über eine Laktation angelegte wissenschaftliche Studien mit insgesamt 200 Kühen ergaben, dass in den ersten 100 Tagen der Laktation die Milchsekretionsraten in den AMS-Gruppen signifikant höher waren als in der konventionellen Vergleichsgruppe. Die Zitzengewebebeschaffenheit war in den AMS-Gruppen signifikant verbessert. In allen Kuhgruppen bestand eine gute Eutergesundheit, sodass keine Unterschiede statistisch zu sichern waren (HAMANN et al., 2006). Diese im Rahmen von wissenschaftlichen Studien erhobenen Befunde wurden in Untersuchungen beim Umstellen vom konventionellen System auf AMS nicht immer bestätigt (REINECKE, 2011). Dafür kommen

vor allem folgende Aspekte in Betracht: Im AMS wird mit einem Melkzeug eine Gruppe von bis zu 75 Kühen gemolken; eine Melkreihenfolge unter Berücksichtigung der Eutergesundheit ist nicht realisierbar; die Zwischendesinfektion der Melkbecher weist nicht immer eine zufriedenstellende Wirksamkeit auf; nicht erfolgreiche Ansatzversuche der Melkbecher begünstigen eine Erregerverbreitung. Ferner können längere Zitzenkanaloffenphasen insbesondere zu einem Anstieg von Infektionen mit Umweltkeimen führen.

Wie aus wissenschaftlich betreuten Studien hervorgeht, ist ein personal-intensives Betreuen der Kühe unter AMS-Bedingungen von einer höheren Milchleistung und der Aufrechterhaltung einer guten Eutergesundheit begleitet. Dies bedeutet als Folgerung, dass die Tierhalter in AMS-Betrieben zwar von einer zeitlich definierten körperlichen Arbeit des Melkens durch das AMS befreit werden, jedoch die Anforderungen an die Überwachung der Herden zunimmt, wobei hier auch eine laufende Fortbildung der Landwirte zu fordern ist.

Die Trends in Richtung auf AMS beschreiben die melktechnische Entwicklung in Industrieländern. In Ländern wie Indien mit völlig anderen Strukturen (mittlere Kuhzahl pro Betrieb < 2,0; 75 Mio. Betriebe) wird sich die Entwicklung der maschinellen Milchgewinnung auf die Einrichtung von Melkzentren und die Durchführung von Hygienemaßnahmen und die Vermittlung von Informationen an die Tierhalter (Schulung) beziehen (HAMANN, 2011).

Literatur

- ADR (2010): Rinderproduktion in Deutschland 2009. Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter
- BMELV (2006): Durchführungsverordnung zum AMS. Bundesanzeiger Nr. 191, S. 6669 vom 11.10.2006
- Cook, C. (2002): Teat preparation – remove the dirt, reduce the risks. Brit. Mastitis Conf., Brockworth, Proc., 51–57
- DIN ISO 20966 (2008): Automatische Melksysteme – Anforderungen und Prüfung (ISO 20966:2007)
- Hamann, J. (1989): Maschinelles Milchentzug und Mastitis. Kiel, Enke Verlag
- Hamann, J. (1990): Milking hygiene, milking and mastitis. NMC Indianapolis, Symposium, 210–220
- Hamann, J.; Mein, G. A. (1990): Measurement of machine-induced changes in thickness of the bovine teat. *Journal of Dairy Research* 57, 17–22
- Hamann, J. (1991a): Milking related teat tissue changes as a predisposing factor for mastitis. *Flemish Veterinary Journal* 62 Suppl. 1, 57–68
- Hamann, J. (1991b): Maschinelles Melken – eine Tierschutzfrage, Tagungsbericht – „Tiergerechte Nutztierhaltung“. Aufgabe und Ziel für Wissenschaft und Praxis. Neubrandenburg, 72–80
- Hamann, J.; Mein, G. A. (1995): Dynamic tests for reactions of the teat. Proc. of the 3rd IDF Int. Mastitis Seminar, Tel Aviv, s 7,30–7,34

- Hamann, J. (1996): Strategie der Mastitisprävention – eine Übersicht. Tagung DVG-Fachgruppe Milchhygiene, Grub, Proc. 1–10
- Hamann, J. (2001): Zum Einfluss von Haltungssystemen auf Eutergesundheit und Milchqualität. Rinderproduktion 43, 52–54
- Hamann, J. (2002): Milk quality and udder health in relation to modern milking technique. In: Recent Developments and Perspectives in Bovine Medicine. Kaske, M. Scholz, H., Höltershinken, M., (Hrsg.), Hannover, Tierärztliche Hochschule
- Hamann, J.; Redetzky, R.; Grabowski, N.; Fehlings, K.; Schridde, M. (2006): Pros und Kons – Automatische Melkverfahren. Proc. des 6. Berliner-Brandenburgischen Rindertages, 114–116
- Hamann, J. (2008): Zur Bekämpfung der bovinen Mastitis unter Praxisbedingungen, Tierärztliche Umschau 63, 12, 643–650
- Hamann, J. (2011): Zur Milchwirtschaft in Indien – ein Reisebericht. Tierärztliche Umschau 66, 74–78
- Lefcourt, A. (1982): Rhythmic contractions of the teat sphincter in bovines: An expulsion mechanism. American Journal of Physiology, 242 III, R 181-R 184
- Pichler, O. (2011): Persönliche Mitteilung
- Reinecke, F. (2011): Automatische Melksysteme - Segen oder Fluch. Der praktische Tierarzt 92, 1, 59–64
- Reinemann, D. (2011): The NMC Top Ten Contributions to Machine Milking: The first 50 Years. NMC Arlington, Symposium, 77–81
- Zecconi, A.; Hamann, J. (2006): Interpretation of machine effects on the defence mechanisms of the bovine teat tissue. Milchwissenschaft 61, 4, 356–359

Beurteilung aktueller Sensortechnik für die Erkennung von klinischen und subklinischen Mastitiden auf Betrieben mit automatischem Melksystem

Evaluation of presently used sensor systems for detection of clinical and subclinical mastitis in automatic milking farms

MONIKA BRANDT¹, ANGELIKA HAEUSSERMANN¹, KARIN KNAPPSTEIN², EBERHARD HARTUNG¹

¹ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Max-Eyth-Str. 6, 24118 Kiel

² Max-Rubner Institut, Institut für Sicherheit und Qualität von Milch und Fisch, Hermann-Weigmann-Str. 1, 24103 Kiel

Schlüsselwörter: Zellzahl, Mastitiserreger, abnormale Milch, Sensitivität

Keywords: somatic cell count, mastitis pathogens, abnormal milk, sensitivity

Zusammenfassung

Die Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung war die Evaluierung der derzeit verwendeten Sensortechniken für die Kontrolle der Milch auf zwölf Praxisbetrieben mit AMS. Die zytobakteriologische Untersuchung von Viertelgemelksproben ergab, je nach Betrieb, einen Anteil an mit Mastitiserregern infizierten Vierteln zwischen 13 % und 48 %, und einen Anteil an klinischen Mastitiden zwischen 2 % und 5 %. Die Auswertungen der Hinweise der AMS zeigten starke Unterschiede hinsichtlich der Sensitivität und Spezifität der Erkennung von Eutererkrankungen zwischen den Betrieben. Die online Zellzahlbestimmung stellte eine gute Möglichkeit zur Verbesserung der Erkennung dar. Die Untersuchung ergab, dass die automatische Erkennung von Eutererkrankungen neben dem Sensorsystem von weiteren Faktoren abhängt.

Summary

The aim of the current study was to evaluate presently used sensor systems in twelve automatic milking farms with regard to detection of mastitis. Cyto-bacteriological analysis of quarter milk samples resulted in a proportion of quarters infected with mastitis pathogens between 13 % and 48 %, and in a proportion of clinical mastitis between 2 % and 5 % in the investigated farms. Evaluation of herd management data of AMS showed a large variation of sensitivity and specificity for the detection of udder health disorders between the farms. Online SCC determination offered a good possibility to improve automated mastitis detection. The results indicated that in addition to the sensor system, sensor performance is also influenced by other factors.

1 Einleitung

Automatische Melksysteme (AMS) werden zunehmend für die Melkroutine auf landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Beim automatischen Melken muss die Kontrolle und Überwachung der Eutergesundheit von geeigneten Sensoren übernommen werden, da während des Melkprozesses kein Melker anwesend ist (VO (EG) Nr. 853/2004). In der internationalen Norm für automatische Melksysteme wird für die Erkennung abnormaler Milch eine Sensitivität von mehr als 70 % und eine Spezifität von mindestens 99 % gefordert (ISO 20966:2007).

Die Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung war die Überprüfung der derzeit verwendeten Sensortechniken für die Kontrolle der Milch auf zwölf Praxisbetrieben mit AMS in Schleswig-Holstein. Die Situation der Betriebe im Hinblick auf die Eutergesundheit und Ausstattung der AMS sowie die Hinweise der AMS im Hinblick auf Euterentzündungen wurden untersucht.

2 Material und Methoden

Zwölf Praxisbetriebe in Schleswig-Holstein wurden hinsichtlich ihrer Eutergesundheit, ihrer Sensorausstattung am AMS und der Hinweise, die das AMS in Bezug auf die Eutergesundheit ausgab, untersucht. Die Betriebe waren mit einem oder zwei AMS der Hersteller Lely (Lely Industries N.V., Maassluis, Niederlande), DeLaval (DeLaval International AB, Tumba, Schweden) oder SAC (S.A.Christensen & Co, Kolding, Dänemark) ausgestattet.

Die Anzahl der Kühe auf den untersuchten Betrieben lag zwischen 51 und 167. Die mittlere Milchleistung lag zwischen 7046 kg (Betrieb D3) und 9976 kg (Betrieb L1), der mittlere Zellgehalt zwischen 131000 Zellen/ml (Betrieb S4) und 449000 Zellen/ml (Betrieb L3). Alle Systeme erfassten die Milchmenge und die elektrische Leitfähigkeit (EL), um Hinweise auf Euterentzündungen zu liefern. Die Systeme der Firma DeLaval verfügten zusätzlich über eine Bluterkennung und die Systeme der Firma Lely über eine Erfassung der Milchtemperatur und der Milchfarbe. Die Betriebe D3 und D4 (DeLaval) sowie L3 und L4 (Lely) waren darüber hinaus mit einer online Bestimmung des Zellgehaltes ausgestattet.

Die Datenerhebung erfolgte im Zeitraum von Juni 2009 bis April 2010. Um den Eutergesundheitsstatus der einzelnen Betriebe zu ermitteln, wurden Viertelgemelksproben von nahezu allen laktierenden Tieren gewonnen. Auf den Betrieben D2 und D4 wurde nur eine Gruppe der Herde und auf Betrieb L2 wurden 70 zufällig ausgewählte Tiere beprobt. Die Anzahl der untersuchten Tiere betrug 832 (3 130 Viertel) und variierte je nach Betrieb zwischen 46 und 116. Jedes Tier wurde insgesamt dreimal im wöchentlichen Abstand beprobt. Die Gewinnung der Viertelgemelksproben und deren Untersuchung auf die somatische Zellzahl (SCC), und bakteriologische Beschaffenheit erfolgten in Anlehnung an die Vorgaben der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG, 2009). Das Vorgemelk wurde dabei mithilfe eines Vormelkbeckers visuell auf Veränderungen untersucht.

Die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung wurden je Viertel zu einem Befund zusammengefasst. Ein Viertel galt als infiziert, wenn der gleiche Erreger in mindestens zwei von drei Proben nachgewiesen wurde. Zudem wurde ein Viertel als infiziert betrachtet, wenn ein Major Pathogen in nur einer der drei Proben nachgewiesen wurde und die SCC über 200 000 Zellen/ml lag. Für die Beurteilung der SCC je Viertel wurde der geometrische Mittelwert aus den Ergebnissen der drei Probenahmen ermittelt. Für die Beurteilung der Alarmmeldungen über kurze Zeiträume wurde die SCC der entsprechenden Probenahme herangezogen.

Drei unterschiedliche Definitionen einer Mastitis wurden als Gold Standard (GS) für die Auswertung der Alarmmeldungen mit dem Verfahren des diagnostischen Tests angenommen:

- GS_{klin} : Klinische Mastitis: Ein Viertel wurde als klinisch erkrankt definiert, wenn die Vorgemelksprobe Veränderungen in der Homogenität (Flocken) aufwies;
- GS_{100} : Mastitis Definition in Anlehnung an die Richtlinien der DVG (2002): Das Viertel wies eine Infektion mit Mastitiserregern auf und die SCC der Viertelgemelksprobe lag über 100 000 Zellen/ml;
- GS_{500} : Das Viertel wies eine Infektion mit Major Pathogenen auf und die SCC der Viertelgemelksprobe lag über 500 000 Zellen/ml.

Die Daten der Herdenmanagementprogramme der AMS wurden über den Zeitraum von einem Tag vor der ersten Probenahme bis zum Tag der letzten Probenahme erfasst. Ausgewertet wurden die Alarmmeldungen hinsichtlich Eutergesundheitsstörungen, die im Einzelnen auf folgenden Parametern beruhten:

- De Laval Systeme: kombinierter Alarm herausgegeben vom System, Alarm entspricht einer Kombination aus EL, Bluterkennung und Milchmenge auf Viertelebene.
- Lely Systeme: kombinierter Alarm aus den Alarmen der Messung der EL und der Farbmessung, kombiniert durch eine „Oder“-Funktion.
- SAC Systeme: Alarm basierte nur auf der Messung der EL.

Die Auswertung der Alarmmeldungen erfolgte nach dem Verfahren des diagnostischen Tests. Die Prävalenz wurde errechnet als Verhältnis der GS positiven Viertel zu allen untersuchten Vierteln. Die Sensitivität (SN) wurde als Anteil der richtig positiv erkannten Viertel an allen erkrankten Vierteln berechnet. Die Spezifität (SP) gibt den Anteil der richtig negativ erkannten Viertel an allen nicht erkrankten Vierteln wieder.

Die Auswertung der Alarme der AMS erfolgte für unterschiedliche Zeiträume. Zum einen wurde der gesamte Untersuchungszeitraum (15 Tage, ein Tag vor der ersten Probenahme bis zum Tag der letzten Probenahme) betrachtet. Für die Betrachtung kürzerer Zeiträume wurde einerseits ausschließlich das Gemelk der Probenahme betrachtet (P0). Andererseits wurden feste Zeiträume definiert, die ein (P1), drei (P3) oder fünf (P5) Gemelke vor bzw. nach dem Gemelk der Probenahme begannen bzw. endeten. Ein Alarm wurde gewertet, wenn das Viertel mindestens einmal im jeweiligen Betrachtungszeitraum einen Hinweis durch das System erhielt.

Die Daten aus der online Zellzahl-Bestimmung (Betriebe D3, D4, L3 und L4) wurden separat ausgewertet. Um die Ergebnisse mit den Zellzahlwerten aus dem Labor zu vergleichen, wurde die Korrelation berechnet. Die Alarmmeldungen durch die Systeme erfolgten bei der Überschreitung von 200 000 Zellen/ml (DeLaval Systeme, Gesamtgemelk) bzw. bei Zellgehalten der Klassen IV und V (Lely Systeme, Viertelgemelk). Die

Hinweise aus der online Zellzahl-Bestimmung wurden mit der Methode des diagnostischen Tests ausgewertet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Eutergesundheitsstatus

Die wesentlichen Ergebnisse zum Eutergesundheitsstatus der untersuchten Herden werden in Tabelle 1 dargestellt. Der Anteil an Kühen mit atrophierten Vierteln je Betrieb war mit 2 % (Betrieb D3) bis 18 % (Betrieb S2) überwiegend recht hoch. Eine mögliche Ursache könnte eine zu späte Erkennung von Euterentzündungen sein. Zudem gaben die Landwirte in dieser Untersuchung an, dass die Tiere mit atrophierten Vierteln länger in der Herde verbleiben als beim konventionellen Melken, da das Melken dieser Tiere am AMS technisch unproblematisch ist.

Insgesamt wiesen 34 % der untersuchten Viertel Infektionen mit Mastitiserregern auf, wobei der Anteil je nach Betrieb zwischen 13 % (Betrieb 10) und 48 % (Betrieb 12) variierte (Tab. 1). Minor Pathogene (koagulase-negative Staphylokokken (KNS), coryneforme Bakterien) nahmen auf allen Betrieben den größten Anteil an den Infektionen ein. Dieser lag für die KNS im Mittel bei 21 % und für die coryneformen Bakterien bei 40 %. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, variierten die Infektionen mit Major Pathogenen deutlich zwischen den Betrieben. Die Betriebe L2, S3 und D4 wiesen hohe Anteile an Infektionen mit kontagiösen Erregern (*Staphylococcus (Staph.) aureus*) auf. Auf den Betrieben D1 und D2 wurden Infektionen mit *Streptococcus (Strept.) agalactiae*, dem Erreger des Gelben Galts, nachgewiesen, wovon auf Betrieb D2 mehr als 7 % der Viertel betroffen waren. Die Betriebe D1, S3 und D4 wiesen hingegen einen hohen Anteil an Infektionen mit Umwelterregern (*Strept. uberis*, Enterokokken, gram-negative Stäbchen) auf. Weitere Erreger, die meist nur mit geringen Anteilen nachgewiesen wurden, waren *Strept. dysgalactiae* (0,3 % bis 2,8 %) oder Hefen.

Beim automatischen Melken wird die gesamte Herde mit denselben Melkbechern gemolken, wodurch das Übertragungsrisiko für kontagiöse Erreger wie *Staph. aureus* und *Strept. agalactiae* steigt. Daher ist eine gute Zwischendesinfektion der Melkbecher besonders wichtig, ebenso wie eine Desinfektion des Zitzenreinigungssystems. Durch das häufigere Melken und die mitunter sehr kurzen Zwischenmelkzeiten am AMS kann das Zitzengewebe gereizt werden, und der Strichkanal ist häufiger geöffnet. Dies kann bei entsprechendem Keimdruck im Stall die Ansteckung mit Umwelterregern begünstigen (HAMANN und OSTERAS, 1994; RASMUSSEN et al., 2001).

Tab. 1: Übersicht über den Eutergesundheitsstatus der untersuchten Herden

Tab. 1: Udder health status of the investigated dairy herds

Betrieb	Viertel (n)	Kühe mit atrophierten Vierteln (%)	Infizierte Viertel (%)	Kontagiöse Erreger ¹ (%)	Umwelterreger ² (%)	Minor Pathogene ³ (%)	Prävalenz GS _{klin} ⁴ (%)	Prävalenz GS ₁₀₀ ⁵ (%)	Prävalenz GS ₅₀₀ ⁶ (%)
D1	215	14	43,7	0,5	9,0	33,2	2,8	23,1	4,0
D2	211	13	35,5	9,5	3,8	18,9	4,7	24,2	8,5
D3	437	13	28,1	6,0	2,1	18,0	4,9	19,5	6,4
D4	231	2	33,8	7,9	3,5	21,6	3,0	26,4	4,8
L1	191	12	34,6	1,6	5,2	27,2	2,2	32,2	5,5
L2	260	14	40,4	7,3	9,6	23,2	2,6	25,4	9,2
L3	201	4	32,3	4,0	3,5	19,9	3,9	26,3	8,6
L4	176	9	48,3	5,2	9,9	30,7	2,6	35,9	13,1
S1	210	11	29,5	0,5	4,4	22,5	3,6	16,9	3,7
S2	302	18	43,0	4,8	3,4	31,3	4,0	24,7	7,5
S3	388	14	40,2	17,0	8,9	13,4	3,1	34,8	18,5
S4	308	6	12,7	0,7	1,6	10,2	2,3	5,1	1,0
Gesamt	3130	11	33,6	6,0	5,2	21,4	3,3	24,5	7,6

¹ Kontagiöse Erreger: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus (Strept.) agalactiae*

² Umwelterreger: *Strept. uberis*, Enterokokken, gram-negative Stäbchen

³ Minor Pathogene: koagulase-negative Staphylokokken, coryneforme Bakterien

⁴ GS_{klin}: klinische Mastitis

⁵ GS₁₀₀: SCC > 100 000 Zellen/ml und Mastitiserreger

⁶ GS₅₀₀: SCC > 500 000 Zellen/ml und Major Pathogene

Die Prävalenz für klinische Mastitis lag für die untersuchten Betriebe im Mittel bei 3 % der untersuchten Viertel. Die geringste Prävalenz wurde auf dem Betrieben L1 mit 2,2 % festgestellt, während Betrieb D3 mit 4,9 % den höchsten Anteil an klinisch erkrankten Vierteln aufwies. Den Befund Mastitis, definiert nach den Richtlinien der DVG (2002) (GS100) wiesen zwischen 5 % (Betrieb S4) und 36 % (Betrieb L4) der untersuchten Viertel auf. Eine SCC über 500 000 Zellen/ml und eine Infektion mit Major Pathogenen (GS500) wurde bei 8 % der untersuchten Viertel nachgewiesen mit einer Variation von 1 % (Betrieb S4) bis 19 % (Betrieb S3) (Tab. 1).

3.2 Erkennung von Euterentzündungen

Um die Hinweise der Sensorsysteme zu evaluieren, wurden zunächst die SN und die SP für die Erkennung der drei GS für den gesamten Untersuchungszeitraum ausgewertet (Tab. 2). Die SN variierte zwischen 14 % und 100 % und die SP zwischen 8 % und 92 %. Die in der ISO Norm geforderte SN von mindestens 70 % bei einer Mindestspezifität von 99 % (ISO 20966:2007) wurde von keinem der untersuchten Systeme und für keinen der angenommenen GS erreicht. Der GS_{klin} entspricht am ehesten der Definition für abnormale Milch in der ISO Norm. Betriebe, die eine SN von mehr als 70 % für die Erkennung

klinischer Mastitiden aufwiesen, erreichten jedoch nur eine SP von 8 % (Betrieb L3) bis 71 % (Betrieb L2).

Tab. 2: Sensitivität (SN) und Spezifität (SP) in Prozent für die unterschiedlichen Gold Standards (GS) für den gesamten Untersuchungszeitraum

Tab. 2: Sensitivity (SN) and specificity (SP) in percent for the different gold standards (GS) of the investigated systems for the whole sampling period

Betrieb	klinische Mastitis (GS _{klin})		SCC ¹ > 100 000 Zellen/ml, Erregernachweis positiv (GS ₁₀₀)		SCC ¹ > 500 000 Zellen/ml, Major Pathogen (GS ₅₀₀)	
	SN	SP	SN	SP	SN	SP
D1	80	19	90	22	100	20
D2	50	52	57	54	72	54
D3	86	36	64	34	68	34
D4	71	58	53	60	55	57
L1	50	87	14	87	50	89
L2	71	71	39	72	58	72
L3	100	8	96	10	88	8
L4	50	90	25	96	35	92
S1	43	60	34	58	71	60
S2	92	49	63	50	83	49
S3	83	54	64	60	72	57
S4	57	46	87	47	100	46

¹ SCC = geometrischer Mittelwert der drei Probenahmen

Die Betrachtung kürzerer Zeiträume (P0, P1, P3 und P5) für die Alarmmeldungen der AMS führte zu einer Verringerung der SN und zu einer Erhöhung der SP im Vergleich zur Betrachtung des gesamten Untersuchungszeitraumes. Wird ausschließlich das Gemelk der Probenahme betrachtet, war die SP überwiegend größer als 90 %. Für die SN wurde höchstens 60 % erreicht, überwiegend lag sie im Bereich von 10 % bis 30 %, was bedeutet, dass mehr als die Hälfte der erkrankten Viertel nicht erkannt wurden.

Im Hinblick auf die automatische Ableitung von abnormaler Milch sind die festgestellten Werte für SN und SP zu gering. Besonders die teilweise geringe SP würde dazu führen, dass nicht veränderte Milch verworfen würde, womit wirtschaftliche Verluste für den Landwirt einhergehen. Jedoch wurde in dieser Untersuchung mit den Grenzwerten der Systeme für Alarmmeldungen gearbeitet. Für die automatische Ableitung liegen die Grenzwerte in der Regel höher. Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen große Unterschiede der SN und SP zwischen den betrachteten Zeiträumen, den untersuchten Systemen und den untersuchten Betrieben auf. Die Leistungsfähigkeit dieser Tests scheint daher, neben dem definierten GS, von dem gesetzten Grenzwert des Sensors und dem betrachteten Zeitraum, insbesondere vom Eutergesundheitsstatus der untersuchten Herde, und von weiteren Betriebseinflüssen abzuhängen.

Ergebnisse der online SCC-Bestimmung

Die Korrelation zwischen der online Bestimmung der SCC und den Ergebnissen der Viertelgemelksproben lag für die DeLaval Betriebe bei 0,82 (Betrieb D3) und 0,78 (Betrieb

D4) ($p < 0,001$). Für das MQC-C System der Firma Lely lag die Korrelation zwischen den Zellzahlklassen bei 0,83 für den Betrieb L3 und 0,49 für den Betrieb L4 und war damit vergleichbar mit anderen Studien, in denen die Korrelationskoeffizienten bei 0,71 und 0,47 lagen (MOLLENHORST et al., 2009).

Die ausschließliche Betrachtung der SN und der SP für Alarmmeldungen aus der SCC-Bestimmung ergab eine höhere SN als die Betrachtung der Basisalarmmeldungen (Tab. 3). Die SP war bei den Betrieben D3 und D4 ebenfalls höher, während sie für die Betriebe L3 und L4 unter der SP der Basisalarme lag. Der Betrieb L3 erzielte bei Berücksichtigung des SCC Alarms eine SN von 75 % und eine SP von 99 % für die Erkennung des GS500 im Gemelk der Probenahme (PO), womit die Anforderungen der ISO Norm in diesem Betrieb erfüllt wurden (ISO 20966:2007). Dagegen lag die SN bei Betrieb L4 mit dem gleichen System allerdings nur bei 11 %

Tab. 3: Sensitivität (SN) und Spezifität (SP) für Hinweise der online SCC-Bestimmung für das Gemelk der Probenahme (PO)

Tab. 3: Sensitivity (SN) and specificity (SP) for online SCC alerts for the milking of sampling (PO)

Betrieb	GS _{klin}		GS ₁₀₀		GS ₅₀₀	
	SN	SP	SN	SP	SN	SP
D3	77	73	56	89	76	83
D4	100	55	65	90	77	62
L3	50	93	26	99	75	99
L4	0	98	4	100	11	99

4 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie beinhaltet einen Überblick über den Eutergesundheitsstatus und die Beurteilung der Sensortechnik für die Erkennung von Euterentzündungen auf zwölf Praxisbetrieben mit AMS in Schleswig-Holstein. Betriebe mit gleicher technischer Ausstattung der AMS zeigten teilweise erhebliche Unterschiede in der Eutergesundheit. Der Eutergesundheitsstatus der Herde scheint von mehreren Faktoren abhängig zu sein. Dazu können der Eutergesundheitsstatus vor der Umstellung auf das AMS sowie ein insgesamt gutes Eutergesundheitsmanagement zählen. Die Auswertung der Alarmmeldungen der Herdenmanagementprogramme wiesen große Unterschiede für die SN und die SP zwischen den Betrieben und zwischen den betrachteten Zeiträumen auf. Das weist darauf hin, dass neben der Sensortechnik auch spezifische Betriebsumstände, wie beispielsweise der Eutergesundheitsstatus der Herde, einen großen Einfluss auf die automatische Erkennung von Euterentzündungen haben. Diese Einflüsse gilt es in Zukunft näher zu untersuchen. Die online Erfassung der SCC zeigte vielversprechende Ergebnisse und könnte zukünftig zu einer verbesserten Erkennung von Euterentzündungen beitragen. Neben einem verlässlichen Sensor- und Alarmsystem der AMS sind jedoch von Seiten des Landwirts ein sehr gutes Management und ein ausgeprägtes Bewusstsein für die Eutergesundheit notwendig, um einen hohen Eutergesundheitsstatus in der Herde zu erhalten oder zu erreichen.

Literatur

- Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG), Sachverständigenausschuss „Subklinische Mastitis“ (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Hannover
- Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG), Sachverständigenausschuss „Subklinische Mastitis“ (2009): Leitlinien zur Entnahme von Milchproben unter aseptischen Bedingungen und Leitlinien zur Isolierung und Identifizierung von Mastitiserregern. 2. Auflage, Gießen
- Hamann, J.; Osteras, O. (1994): Teat tissue reactions to machine milking and new infection risk. Special aspects. Bull. Int. Dairy Fed., No. 297, 35–40
- ISO 20966:2007. Automatic milking installations – Requirements and testing. International Standard Organization
- Mollenhorst, E.; van der Tol, P. P. J.; Hogeveen, H. (2009): Mastitis detection: visual observation compared to inline, quarter and milking somatic cell count, Precision Livestock Farming 2009, 307–314
- Rasmussen, M. D.; Blom J. Y.; Nielsen, L. A. H.; Justesen, P. (2001): Udder health of cows milked automatically. Livest. Prod. Sci. 77, 984–993
- Verordnung (EG) NR. 853/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs. ABl. EG Nr. L 226 vom 25.06.2004, 22

Vakuumverhalten in konventionellen und viertelindividuellen Melksystemen beim Melken

Vacuum behaviour in conventional and quarter-individual milking systems during milking

SANDRA ROSE-MEIERHÖFER, GUNDULA HOFFMANN, ULRICH STRÖBEL, REINER BRUNSCH

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

Schlüsselwörter: Vakuumverhalten, viertelindividuelles Melken, Messungen unter Melkbedingungen

Keywords: vacuum behaviour, quarter-individual milking, milking-time tests

Zusammenfassung

Ein neues viertelindividuelles Melksystem (MultiLactor[®], Siliconform GmbH, Türkheim, Deutschland) wurde in den letzten Jahren entwickelt, um die nachteiligen Einflüsse und Belastungen auf das Eutergewebe und das Zitzengewebe zu reduzieren.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Effekt des Milchflusses auf den mittleren Vakuumabfall während der b- und d-Phasen bei konventionellen und Einzelschlauchmelksystemen mithilfe von Messungen unter Melkbedingungen (International Dairy Federation (IDF), 1999) zu charakterisieren.

Die Untersuchungen wurden in zwei Tandem-Melkständen durchgeführt, in denen ein konventionelles System (CON) und ein viertelindividuelles Melksystem, der MultiLactor[®] (MULTI) (mit periodischem Luftenlass) eingebaut waren. Es konnte festgestellt werden, dass bei einem mittleren Milchfluss von ungefähr 5,0 l/min/Euter das mittlere Vakuum an der Zitze während der b-Phase 30,2 kPa im CON und 27,7 kPa im MULTI betrug (n. s.). Das mittlere zitzenendige Vakuum in der d-Phase hingegen unterschied sich signifikant voneinander.

Summary

A new quarter-individual milking system called the MultiLactor[®] (MULTI) (Siliconform GmbH, Türkheim, Germany) has been developed in the last five years. The objective of this study was to determine the effects of milk flow on average liner vacuum during the b- and d-phases of pulsation in both systems by using the milking-time test defined by International Dairy Federation (IDF, 1999). Measurements were conducted in two different milking parlours where a conventional milking system (CON) and MULTI were installed separately.

It was found out that, at an average flow rate of approximately 5.0 l/min/udder, the average vacuum in the liner during the b-phase was 30.2 kPa in CON and 27.7 kPa in MULTI (n. s.). In contrast the average liner vacuum during the d-phase was significantly different between the systems.

1 Einleitung

Ein Einfluss der Melkmaschine auf die Eutergesundheit ist schon seit über 100 Jahren bekannt. Ein neues viertelindividuelles Melksystem (MultiLactor®, Siliconform GmbH, Türkheim, Germany) wurde in den letzten Jahren entwickelt, um die nachteiligen Einflüsse und Belastungen auf das Eutergewebe und das Zitzengewebe bei Einsatz von konventioneller Melktechnik zu reduzieren.

Viertelindividuelles Melken ist nach Meinung von von BAER (1971) sowie HAMANN und TOLLE (1978) eine Bedingung, um Respray zu stoppen und das Verbreiten von Bakterien zwischen den Zitzen zu verhindern. Zusätzlich ist es wichtig zu verstehen, dass die vier Euterviertel einzelne Einheiten bilden (LPEMA und HOGEWERF, 2008). Da einzelne Euterviertel vier unabhängige Einheiten sind, kann das Melken mit herkömmlichen Melkzeugen das Verbreiten von Bakterien zwischen den einzelnen Vierteln verursachen.

Aufgrund dessen ist das viertelindividuelle Melken eine mögliche Lösung, um diesem ungewollten Effekt vorzubeugen. Automatische Melksysteme (AMS) haben das viertelindividuelle Melken weitestgehend integriert. Viele Untersuchungen zur Wirkung der viertelindividuellen Melksysteme auf die Eutergesundheit wurden von unterschiedlichen Wissenschaftlern durchgeführt. RASMUSSEN et al. (2003) sowie WIRTZ et al. (2002) stellten einen Anstieg der Tankmilchzellzahl nach der Einführung des AMS fest. Dies zeigt die Notwendigkeit des Einsatzes von weiteren Methoden zur Detektion von klinisch infizierten Kühen. Die Messung der Zellzahl (ZZ) pro Euterviertel ist sinnvoll, um die Milchqualität zu analysieren (BERGLUND et al., 2007). Folglich sollte eine besondere Aufmerksamkeit zum Einsatz von viertelindividuellen Melksystemen im konventionellen Melkstand geleistet werden, in denen die Melkperson den Eutergesundheitszustand überwacht, um ZZ und Euterkrankheiten zu verringern (ROSE et al., 2006). Untersuchungen von SVENNERSTEN-SJAUNJA et al. (2000) sowie HAMANN und REINECKE (2002) zeigten eine deutliche Verbesserung der Eutergesundheit, nachdem ein AMS eingesetzt wurde.

Es ist notwendig, die Druckverhältnisse an der Zitzenspitze zu erfassen, um die Bedingungen an der Zitze zu verstehen. Der Einsatz von elektrischen Druckgebern ermöglicht nicht nur das Messen des statischen Drucks, sondern auch des dynamischen Drucks mit einer hohen Auflösung. Neue Testmethoden wurden beschrieben, um die Vakuumveränderungen während des Melkens erfassen zu können (RASMUSSEN et al., 2003; REINEMANN et al., 1996). Die International Dairy Federation (IDF, 1999; SPOHR und SCHÜTTE, 2009) empfiehlt verschiedene Arten von Tests:

- Trockenmessung – Prüfung, die an einer Melkanlage ohne Flüssigkeit durchgeführt wird,
- Nassmessung – Prüfung, die an einer Melkanlage unter simulierter Melkung durchgeführt wird,
- Messung unter Melkbedingungen – Prüfung, die an einer Melkanlage während der Melkung von lebenden Tieren durchgeführt wird.

Beim Messen unter Melkbedingungen ist es erforderlich, ein Vakuumfassungssystem zu verwenden, welches eine Messabweichung von weniger als $\pm 0,6$ kPa und eine Wiederholbarkeit von $\pm 0,2$ kPa (DIN ISO 6690, 2010) aufweist. Bei Messungen unter Melkbedingungen im kurzen Milchschauch sollte die Mindestabtastfrequenz 1 000 Hz und die Mindestansprechgeschwindigkeit 22 000 kPa/s betragen. Ergänzend spezifiziert das

National Mastitis Council (1996) folgende Anforderung: Das Vakuumerfassungssystem muss mindestens zur Erfassung von 90 % der Vakuumschwankungen (ohne weitere Beschreibung der Eigenschaften solch eines Instrumentes) fähig sein.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Effekt des Milchflusses auf den mittleren Vakuumbau während der b- und d-Phasen bei konventionellen und Einzelschlauchmelksystemen mithilfe von Messungen unter Melkbedingungen (IDF, 1999) beim Melken zu charakterisieren.

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden im selben Betrieb in zwei Tandem-Melkständen auf einem deutschen Milchviehbetrieb durchgeführt, in denen ein konventionelles System (CON) und ein viertelindividuelles Melksystem, der MultiLactor® (MULTI) (mit periodischem Lufteinlass im konventionellen Melkstand), eingebaut waren. Beide Melkstände waren mit Milchmengenmessgeräten ausgestattet. Das konventionelle Melkzeug (Classic Westfalia 300, GEA, Bönen, Germany) hatte ein Sammelstückvolumen von 300 ml und wurde als Referenzmelkzeug genutzt. Wechseltaktpulsation mit 60 Pulsen pro Minute und ein Saug-/Druckphasenverhältnis von 60:40 wurden eingestellt. Das Anlagenvakuum betrug 42 kPa.

Der MultiLactor® (Siliconform GmbH, Türkheim, Deutschland) (MULTI) ist ein viertelindividuelles Melksystem mit Einzelschlauchführung ohne Milchsammelstück. Nach Ansetzen der einzelnen Melkbecher startet die mechanische Stimulation der Zitzen (50 s), bei der mithilfe eines pneumatischen Arms (Aktuator) die vier Melkbecher und Milchschräuche in eine schwingende Bewegung versetzt werden. Das Anlagenvakuum lag bei 39 kPa. Das System arbeitet im Melkbecher mit periodischem Lufteinlass (HOEFELMAYR et al., 1979) und Silikonzitzengummis. Die Pulsation verläuft sequenziell mit 35 % Entlastungsphase und 65 % Saugphase. Die Länge der Milchschräuche betrug 2 100 mm mit einem Durchmesser von 10 mm. Diese Melkeinheit unterscheidet sich deutlich von konventionellen Melkzeugen, da die Melkeinheit aus vier einzelnen Milchschräuchen besteht, die über drei Y-Stücke zu einem Milchschräuch zusammengeführt werden.

Die Vakuummessungen wurden mithilfe der Messung unter Melkbedingungen (IDF, 1999) bei zwei Gruppen von Holstein-Friesian Kühen (6 Kühe/Gruppe) während der Nachmittagsmelkzeit durchgeführt.

Die Vakuummessung erfolgte mit dem Messgerät Bovipress (A & R Trading GmbH, Echem, Germany). Das Vakuum wurde über die Dauer des gesamten Melkprozesses an der Zitzen spitze, im Pulsraum, im Sammelstück bzw. in der Zusammenführung und der Hauptvakuumleitung zeitgleich erfasst. Die Sensoren waren über T-Stücke verbunden.

Aus den erfassten Daten wurde das mittlere Vakuum über den gesamten Pulszyklus, das mittlere Vakuum für die b-Phase und das mittlere Vakuum für die d-Phase nach der DIN ISO Formel in DIN ISO 6690 (2007) berechnet.

Die Milchflusskurven wurden mithilfe des LactoCorders® (WMB, Balgach, Schweiz) aufgezeichnet, um die Bedingungen während des Melkens zu erfassen und ein milchflussbezogenes Vakuum berechnen zu können.

Statistische Auswertung

Die Ermittlung der Pulsphasen erfolgte unter Verwendung eines SAS Makros, basierend auf den Richtlinien der DIN ISO 5707 und 6690 (2007). Die Auswertung der Vakuumabfälle wurde mithilfe von parametrischen Tests, basierend auf einem linearen Modell, durchgeführt. Die erfassten Werte aus dem MultiLactor® wurden mit den erfassten Werten aus dem konventionellen System verglichen. Die Daten wurden mithilfe der Statistiksoftware SAS (Version 9.2., SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ausgewertet. Für die Berechnung der Mittelwerte wurde die Prozedur MEANS angewendet, das lineare Modell wurde mit Proc MIXED erstellt. Die Grafiken wurden mithilfe der GPLOT-Funktion angefertigt.

Für die Modellgleichung wurde Folgendes angenommen:

$$\underline{y}_{ijk} = \mu + \alpha_{ijk}x_1 + \beta_{jk}x_2 + \underline{e}_{ijk}$$

mit

\underline{y}_{ijk} – randomisierte Variable Vakuumabfall [N(μ ; σ^2e)]

μ – allgemeiner Mittelwert

α_{ijk} – (fix) Effekt i-level des Faktors x1 (Melksystem)

β_{jk} – (fix) Effekt der Covariablen x2 (Milchfluss)

\underline{e}_{ijk} – unabhängiger Restfaktor [N(0; σ^2e)]

(pro Viertel $j = (1, 2)$ und Wiederholung $k = (1,2,3)$)

Die geschätzten Effekte wurden genutzt, um den Vakuumabfall für ausgewählte Milchflüsse zu berechnen (2,0 und 5,0 l pro min/Euter).

3 Ergebnisse und Diskussion

Bei beiden getesteten Systemen wird das zitzenendige Vakuum mit Zunahme des Milchflusses reduziert (Abb. 1). Es konnte festgestellt werden, dass bei einem mittleren Milchfluss von ungefähr 5,0 l/min/Euter das mittlere Vakuum an der Zitze während der b-Phase 30,2 kPa im CON und 27,7 kPa im MULTI betrug. Es konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Das mittlere zitzenendige Vakuum in der d-Phase hingegen unterschied sich signifikant voneinander. Es betrug 28,5 kPa für CON und 16,3 kPa für MULTI.

Die mittleren Vakuumhöhen zeigen die Mittelwerte für die b- und d-Phasen. Es hat sich gezeigt, dass die ermittelten Vakuumhöhen an der Zitzen spitze bei den durchgeführten Nassmessungen gut mit den gemessenen Werten beim Melken übereinstimmen.

Die Tabellen 1 und 2 zeigen signifikante Unterschiede für den mittleren Vakuumabfall und signifikante Unterschiede zwischen MULTI und CON für die Vakuumreduktion in der d-Phase ($\alpha \leq 0,05$).

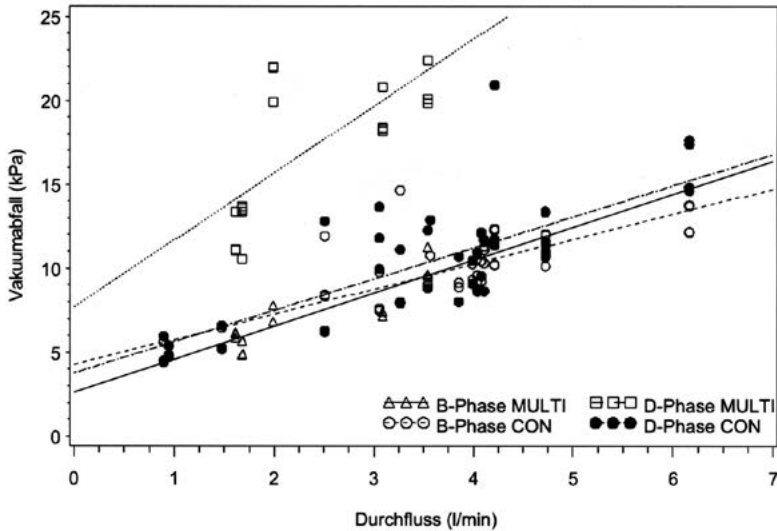


Abb. 1: Vakuumabfall an der Zitzenspitze für die b- und d-Phasen bei verschiedenen Milchflüssen
 Fig. 1 Vacuum reduction at teat end for b- and d-phases at different flow rates

Tab. 1: Test auf fixe Effekte von Melksystem, Milchfluss für b- und d-Phasen und mittlerem Vakuum an der Zitzenspitze

Tab. 1: Tests of fixed effects of milking systems, milk flow for b- and d-phases and mean vacuum at teat end

Phase des Pulszyklus	Effekt	Num DF	Den DF	F-Wert	Pr > (t)
b-Phase	α_i	1	123	2,32	0,1305
	β	1	123	230,71	< 0,0001
d-Phase	α_i	1	123	212,46	< 0,0001
	β	1	123	109,15	< 0,0001
mittleres Vakuum	α_i	1	123	90,75	< 0,0001
	β	1	123	217,08	< 0,0001

Tab. 2: Unterschiede bei der mittleren quadratischen Abweichung beim Vakuumabfall an der Zitzenspitze im MultiLactor® (MULTI) und im konventionellen Melksystem (CON)

Tab. 2: Differences of last square means of vacuum reduction at teat end for MultiLactor® (MULTI) and conventional milking system (CON)

Phase des Pulszyklus	Melksystem	Schätzwert	mittlerer Fehler	t-Wert	Pr > t
b-Phase	MULTI-CON	0,48	0,31	1,52	0,1305
d-Phase	MULTI-CON	-9,1939	0,63	-14,58	< 0,0001
mittleres Vakuum	MULTI-CON	-3,43	0,36	-9,53	< 0,0001

Bei einer Durchflussrate von 2,0 l/min/Euter während des Melkens wurde das mittlere zitzenendige Vakuum in der b-Phase auf 34,8 kPa für CON und auf 32,3 kPa für MULTI geschätzt. Das mittlere zitzenendige Vakuum während der d-Phase bei gleichem Durchfluss betrug 34,8 kPa für CON und 22,6 kPa für MULTI. Im Gegensatz dazu wurde das mittlere Vakuum an der Zitzenspitze bei einem Milchfluss von 5 l/min/Euter in der b-Phase für CON auf 30,2 kPa und für MULTI auf 27,7 kPa geschätzt. Das mittlere zitzenendige Vakuum während der d-Phase bei gleichem Durchfluss betrug 28,5 kPa für CON und 16,3 kPa für MULTI. Das deutlich geringere Vakuum in der d-Phase bei MULTI wurde aufgrund des periodischen Lufteinlasses im MultiLactor® erwartet. WORSTORFF et al. (1983) stellten fest, dass periodischer Lufteinlass zu einer Verbesserung des Schließens des Zitzenummis in der d-Phase führt. Das trägt dazu bei, Zitzenverhärtungen, Zitzenspitzenläsionen und die Zellzahl zu reduzieren. HAMANN (2001) zeigt, dass ein Melksystem mit atmosphärischem Lufteinlass dazu führt, dass weniger Zitzenveränderungen im Vergleich zum konventionellen System entstehen.

Erste Untersuchungen am MultiLactor® und am BioMilker® mit langen Milchsclhäuchen zeigten einen signifikant geringeren Vakuumabfall in der b-Phase als die untersuchten konventionellen Systeme (Öz et al., 2010). Dennoch korrespondieren die Ergebnisse nicht gut mit anderen Untersuchungen, welche einen höheren Vakuumabfall am Zitzenende in der b-Phase bei Einzelschlauchführung im Vergleich zum konventionellen Melkzeug festgestellt haben (O'CALLAGHAN und BERRY, 2008). Jedoch verwendeten alle anderen Studien keine Melksysteme mit periodischem Lufteinlass.

Eigene vorhergehende Untersuchungen zeigten jedoch ähnliche Ergebnisse, in denen hohe Vakuumschwankungen und Vakuumabfälle in konventionellen Melksystemen mit viertelindividuellen langen Milchsclhäuchen festgestellt wurden (ROSE et al., 2008). RASMUSSEN und BJERRING (2002) fanden heraus, dass Vakuumschwankungen an der Zitzenspitze in AMS größer sind als in konventionellen Melksystemen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der MultiLactor® Vorteile im Vergleich zum AMS aufweist, wie z. B. periodischer Lufteinlass, weniger Vakuumverluste an der Zitzenspitze während der b-Phase und einen besseren Massageeffekt in der d-Phase.

Der Grund für die hohe Vakuumdifferenz zwischen den beiden Systemen liegt vermutlich darin begründet, dass der MultiLactor® das BioMilker®-System (Siliconform GmbH, Türkheim) mit periodischem Lufteinlass besitzt.

Das System mit periodischem Lufteinlass zeigte stabile Vakuumverhältnisse auch bei hohen Milchflüssen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der periodische Lufteinlass auch bei viertelindividuellen Systemen eingesetzt werden kann.

4 Schlussfolgerungen

Die Effekte einer Kombination von geringerem Vakuumverlust in der b-Phase mit einem besseren Massageeffekt in der d-Phase konnten als ein Vorteil des MultiLactors® und möglicherweise als Vorteil für andere Systeme mit langen „kurzen Milchsclhäuchen“ angesehen werden. Weitere Forschung ist erforderlich, um die Effekte des viertelindividuellen Melkens in konventionellen Melkständen auf die Melkeigenschaften der Kühe und auf ihre Eutergesundheit festzustellen.

Literatur

- Baer von, H. F. (1971): Zum Infektionsrisiko der Milchdrüse in Abhängigkeit von strömungstechnischen Bedingungen in Melkanlagen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover, 106 Seiten
- Berglund, I.; Pettersson, G.; Ostensson, K.; Svennersten-Sjaunja, K. (2007): Quarter milking for improved detection of increased SCC. *Reprod Domest Anim* 42(4), 427–432
- DIN ISO-Normen 6690, 5707 (2007): Milking machine installations-vocabulary, milking machine installations-mechanical tests, milking machine installations-constructions and performance
- Hamann, J. (2001): Zum Einfluss von Haltungssystemen auf Eutergesundheit und Milchqualität. *Rinderproduktion* 43, 25–54
- Hamann, J.; Reinecke, F. (2002): Machine milking effects on udder health: Comparison of a conventional with a robotic milking system. In: The first North American Conference on Robotic Milking, March 20–22, 2002, Toronto, Canada. Wageningen Pers, IV/17–IV/27
- Hamann, J.; Tolle, A. (1978): Infection trials with conventional and non-conventional milking units. In: Schultze, W. D.; Smith, J. W.; Thompson, P. D. (eds): Proceedings of the International Symposium on Machine Milking: 17th annual meeting, National Mastitis Council, Louisville, Kentucky, USA, February 21–23, 1978. Washington: National Mastitis Council, 269–274
- Hoefelmayer, T.; Maier, J. (1979): So arbeitet der Bio-Milker. *Milchpraxis* 17(2), 65
- IDF (1999): Instruments for mechanical tests of milking machines. *Bulletin/Intern. Dairy Federation* 338
- Ipema, A. H.; Hogewerf, P. (2008): Quarter-controlled milking in dairy cows. *Comput Electron Agr* 62, 59–66
- National Mastitis Council (1996): Procedure for evaluating vacuum levels and air flow in milking systems. Madison, Wisconsin, Natl. Mastitis Council.
- O'Callaghan, E.; Berry, D. (2008): A note on the design and testing of single teat cups for automatic milking systems. *Irish J Agr Food Res* 47, 205–209
- Öz, H.; Rose-Meierhöfer, S.; Bilgen, H.; Brunsch, R. (2010): Determination of vacuum characteristics in conventional and single tube milking systems using the wet-test method. *Milk Sci Int* 65 (3), 238–241
- Rasmussen, M. D.; Bjerring, M. (2002): Vacuum fluctuations in the liner during automatic milking. In: The first North American Conference on Robotic Milking, March 20–22, 2002, Toronto, Canada. Wageningen Pers, PP IV64–11/66
- Rasmussen, M. D.; Reinemann, D. J.; Mein, G. A. (2003): Measuring vacuum in milking machines. *FIL-IDF Bull* 381, 19–32
- Reinemann, D. J.; Rasmussen, M. D.; Mein, G. A.; Frimer, E. S. (1996): Test equipment and its application for measuring vacuum in the short milk tube (online). Zu finden in <http://www.uwex.edu/uwmriVpdf/MilkMachine/PerformanceTesting/96_ASAE_963018_Test_Equipment_SMT_vac.pdf> (Zugriff am 12.02.2010)

- Rose, S.; Brunsch, R.; Schröter, K.; Huschke, W.; Klimetschek, H. (2006): Adaptability of milking clusters to different udder formations in different milking systems. *Agrartechn Forsch* 12, 53–58
- Rose, S.; Öz, H.; Brunsch, R.; Bilgen, H. (2008): Wet and dynamic tests in conventional and single tube milking clusters. *J Agric Machinery Sci* 4, 343–348
- Spohr, M.; Schütte, E. (2009): Messungen unter Melkbedingungen (Dynamische Messungen). 10. Jahrestagung der Wissenschaftlichen Berater der Milcherzeuger e.V., 16./17.09.2009, Dresden-Pillnitz, 41–44
- Svennersten-Sjaunja, K.; Berglund, I.; Pettersson, G. (2000): The milking process in an automatic milking system, evaluation of milk yield, teat condition and udder health. In: Hogeveen, H.; Meijering, A. (eds): *Robotic milking: proceedings of the International Symposium held in Lelystad, The Netherlands, 17–19 August 2000*. Wageningen Pers, 277–288
- Wirtz, N.; Oechtering, K.; Tholen, E.; Trappmann, W. (2002): Comparison of an automatic milking system to a conventional milking parlour. In: *The first North American Conference on Robotic Milking, March 20–22, 2002, Toronto, Canada*. Wageningen Pers, IIV50–IIV53
- Worstorff, H.; Prediger, A.; Auernhammer, H. (1983): Effect of periodical air inlet cluster on teat condition, milk yield and udder health of cows. *Milk Sci Int* 38(5), 280–283

Einfluss des Tierindividuums auf die Genauigkeit der chemometrischen Analyse von Milch Inhaltsstoffen auf Basis der NIR Spektroskopie

Influence of the individual animal on the accuracy of chemometric analysis of milk constituents on the basis of NIR spectroscopy

ANDREAS MELFSEN, ANGELIKA HAEUSSERMANN, EBERHARD HARTUNG

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, 24098 Kiel

Schlüsselwörter: Streulichtkorrektur, Fett, Eiweiß, Laktose, Harnstoff, Zellzahl
Keywords: scattering correction, fat, protein, lactose, urea, somatic cell count

Zusammenfassung

Über einen Zeitraum von 19 Wochen wurden von Gesamtgemelksproben von zwölf Milchkühen (HF, 1.–5. Lakation) Spektren im NIR-Bereich aufgezeichnet und für die Vorhersage des Gehaltes an Fett (%), Eiweiß (%), Laktose (%), Harnstoff (mg/l) und der somatischen Zellzahl (SCC/ml) in der Milchprobe kalibriert. Die Spektren wurden anschließend um tierindividuell auftretende Streulichte effekte korrigiert. Ziel der korrigierten Spektren war es, die Genauigkeit der Vorhersage zu erhöhen. Der Vergleich der Validationsergebnisse zwischen Kalibrationen mit korrigierten und mit nicht korrigierten Spektren ergab, dass eine Verbesserung der Schätzgenauigkeit durch die Berücksichtigung und Korrektur der Streulichteinflüsse möglich ist.

Summary

Composite milk samples were taken from twelve Holstein cows (1st-5th lactation) over a period of 19 weeks in order to obtain NIR spectra. The spectra were used to calibrate and predict the milk contents fat (%), protein (%), lactose (%), urea (mg/l), and somatic cell count (SCC /ml) in a first step. In a second calibration, an individual correction of scattering effects per cow was performed. Aim of the correction was to improve the accuracy of the prediction. Comparison of validation results between calibrations using corrected and uncorrected spectra confirmed an improved accuracy when using scattering correction.

1 Einleitung

Die Überwachung der Tiergesundheit und das Monitoring von Stoffwechselfparametern sind zunehmend Bestandteil des Herdenmanagements in der Milcherzeugung. Als Hilfsmittel kann hierfür unter anderem die Veränderung der Zusammensetzung der tierindividuellen Milchinhaltsstoffe genutzt werden. Die Zusammensetzung der Milch wird in der Regel einmal im Monat im Rahmen der Milchleistungsprüfung der Landeskontrollverbände erfasst. Diese Daten dienen hauptsächlich der Erfassung von Leistungsdaten für die Zuchtwertschätzung. Hierbei werden die Konzentrationen an Fett, Eiweiß, Laktose und Harnstoff sowie die Anzahl der somatischen Zellen in der Milch erfasst. Der zeitliche Verzug zwischen der Probenahme und der Verfügbarkeit der Informationen der Milchinhaltsstoffe auf dem landwirtschaftlichen Betrieb machen eine Interpretation dieser Auskünfte für den Herdenmanager nur zum Teil nutzbar. Eine zeitlich hoch aufgelöste, tierindividuelle Erfassung von Milchinhaltsstoffen bereits während des Melkvorgangs würde deutliche Vorteile für ein verbessertes Herdenmanagement bieten. So können Informationen über den Fettanteil in der Milch Aussagen zum Strukturwert der Futterration oder zum Rohfaseranteil ermöglichen, und der Fett-Eiweiß-Quotient (FEQ) weist mitunter auf die Stoffwechselerkrankungen Pansenazidose ($\text{FEQ} < 1$) und Ketose ($\text{FEQ} > 1,5$) hin. Über den Eiweiß- und Harnstoffanteil in der Milch können Rückschlüsse über die Ausgewogenheit von Energiedichte und Eiweißkonzentration in der Futterration getroffen werden. Der Laktosegehalt und die Anzahl der somatischen Zellen in der Milch helfen weiterhin bei der Überwachung der Eutergesundheit.

Eine Möglichkeit, die Milch mit einer höheren zeitlichen Frequenz zu analysieren, bietet die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS). Mit diesem nicht-invasiven Verfahren ist es möglich, gleichzeitig eine Vielzahl an Inhaltsstoffen zu bestimmen, ohne den untersuchten Stoff selbst zu beeinflussen. Der Spektralbereich des nahen Infrarots (NIR) liegt im elektromagnetischen Spektrum zwischen dem visuell wahrnehmbaren Abschnitt (VIS) und dem mittlerem Infrarotbereich (MIR). Er umfasst den Wellenlängenbereich von 780 nm bis 2500 nm. Die NIRS konnte unter anderem in der Futtermittelanalytik (JACOBI et al., 2011), in der nährstoffgesteuerten Gülleausbringung (ZIMMERMANN et al., 2008) sowie in der Überwachung von Biogasanlagen (JACOBI et al., 2009) prinzipiell etabliert werden.

Der grundsätzliche Einsatz der NIRS zur Analyse von Rohmilch wurde bereits in mehreren Untersuchungen überprüft. TSENKOVA et al. (2001, 2006) kalibrierten in einem statischen Messaufbau die Konzentration an Fett, Eiweiß und Laktose in Milchproben sowie die Anzahl der somatischen Zellen mittels NIRS. Die Untersuchungen wurden im Spektralbereich von 700 nm bis 1100 nm und 1100 nm bis 2500 nm in Transmission bzw. Transfektion durchgeführt. KAWAMURA et al. (2003) zeichneten während des Melkprozesses Spektren im VIS/NIR-Bereich (600–1050 nm) von Rohmilch auf. Die Spektren wurden in diffuser Transmission gemessen und für die Vorhersage der Milchinhaltsstoffe Fett, Eiweiß, Laktose und Harnstoff genutzt. Eigene Untersuchungen bestätigen eine sehr gute bis gute Genauigkeit bei der Vorhersage der Gehalte an Fett, Eiweiß und Laktose in der Milch (MELFSEN et al., 2011).

TSENKOVA et al. (2000, 2001, 2009) beschrieben zudem, dass bei der Kalibrationserstellung zur Vorhersage der Milchinhaltsstoffe ein tierindividueller Einfluss erkennbar ist.

Mithilfe der Kalibrationserstellung auf tierindividueller Ebene konnte somit die Genauigkeit der Inhaltsstoffbestimmung erhöht werden. Nach CATTANEO et al. (2009) begründet sich dieser tierindividuelle Einfluss auf Streulichteefekte, die von den Partikelgrößenverteilungen der Fettkügelchen ausgehen. Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Evaluierung eines NIR-Analysegerätes für die on-farm/on-line Analyse von Rohmilch. Basierend auf den Ergebnissen von TSENKOVA et al. (2000, 2001, 2009) und CATTANEO et al. (2009) ist das Ziel der hier dargestellten Untersuchung darüber hinaus zu überprüfen, inwieweit ein auf Grundlage der, in den untersuchten Milchproben ermittelten, tierindividuellen Streulichteefekte korrigiertes NIR-Modell die Genauigkeit der Vorhersage erhöht.

2 Material und Methoden

2.1 Gewinnung der Milchproben und Referenzanalyse

Die Milchproben wurden an vier Terminen pro Woche über einen Zeitraum von 35 Wochen von zwölf Kühen der Rasse Holstein-Friesian (HF) gewonnen (63–118 Proben je Kuh). Die Probenahme erfolgte an jeweils zwei Abend- und zwei Morgengemelken je Woche am Versuchsgut Karkendamm der Universität Kiel.

Von den zwölf Kühen waren zehn Tiere erstlaktierend, ein Tier war jeweils in der vierten bzw. fünften Laktation. Während des Untersuchungszeitraums befanden sich die Tiere zwischen dem 4. und 398. Laktationstag.

Die Probenahme erfolgte als Teil des Gesamtgemelks je Tier mithilfe eines Probenehmers (Metatron MB, GEA Farm Technologies, Bönen). Von den Proben wurden jeweils 45 ml mit Bronopol konserviert und für die Referenzanalyse genutzt. Weitere 150 ml wurden nach dem Melken gekühlt und innerhalb von vier Stunden für die NIR-Untersuchungen genutzt.

Die Referenzanalyse wurde durch den Landeskontrollverband Schleswig-Holstein (LKV, Kiel) durchgeführt. Alle Proben wurden mit der Routinemethode für die Untersuchung von Fett, Eiweiß, Laktose und Harnstoff mit dem MilkoScan FT+ und für die Zellzahlbestimmung mit dem System Fossomatic FC (beide Foss-Electric A/S, Hillerød, Dänemark) untersucht. Die Anzahl der somatischen Zellen wurde logarithmiert um annähernd gleichverteilte Daten zu erhalten (log Zellzahl).

2.2 NIR Spektren/Referenzierung

Für die NIR-Analyse wurden die Milchproben in einem Wasserbad auf 40 °C erhitzt. Von der erwärmten Milchprobe wurden jeweils 150 ml Rohmilch für die Aufnahme der NIR-Spektren in diffuser Reflexion genutzt. Die Messung erfolgte in einer statischen Messzelle mit Schichtdicke von 30 mm. Hierfür kam ein Diodenzeilen-Spektrometer im Wellenlängenbereich von 850–1650 nm (PSS-1720 Polytec GmbH, Waldbronn) zum Einsatz. Von jeder Milchprobe wurden innerhalb von 30 Sekunden drei Wiederholungsspektren aufgezeichnet. Diese Wiederholungsspektren wurden zur Bildung eines Mittelwert-Spektrums herangezogen. Zur Referenzierung des Spektrometers wurde vor jeder Spektrenaufnahme der Dunkelstrom aufgezeichnet, die Vermessung der Weißreferenz erfolgte im 30-minütigen Abstand (ca. alle 20 Proben).

Zur Differenzierung der Streulichteefekte wurden die Partikelgrößenverteilungen der Milchproben im Max-Rubner-Institut in Kiel mithilfe eines Laserbeugungsspektrometers (Beckman Coulter) bestimmt.

Die Rohmilchspektren des Gesamtdatensatzes wurden anschließend um ein zuvor erstelltes tierindividuelles Streulichtspektrum korrigiert, welches nicht auf der chemischen Zusammensetzung der Milch, sondern auf der Partikelgrößenverteilung in der Milch basierte. Durch Differenzbildung war es möglich eine annähernde Beschreibung der Streulichteefekte durchzuführen. Aus den korrigierten und den nicht korrigierten Spektren wurden zwei Datensätze erstellt, deren Schätzgüte für die verschiedenen Milchinhaltsstoffe vergleichend bewertet wurde.

2.3 Datenvorbehandlung und Kalibrationserstellung

Die Kalibration für die Milchinhaltsstoffe wurde mithilfe chemometrischer Methoden erstellt. Zu diesem Zweck wurde das Softwareprogramm SL Calibration Wizard v.1.1 (SensoLogic GmbH, Norderstedt) genutzt. Zur Erstellung optimaler Kalibrationen wurden auf die Spektren unterschiedliche Datenvorbehandlungen angewendet. Dabei wurde in erster Linie auf die 1. und 2. Ableitung der Spektren zurückgegriffen, um unerwünschte Varianzbeiträge zu entfernen.

Der korrigierte wie auch der nicht korrigierte Datensatz wurde jeweils randomisiert, in ein Kalibrations- ($n = 767$) und ein Validationsset ($n = 384$) geteilt. Für jeden einzelnen Inhaltsstoff wurde auf Basis des Kalibrationssets ein PLS-Modell (Partial-Least-Square) erstellt und anhand des zuvor erstellten Validationssets überprüft. Die Überprüfung erfolgte anhand der Evaluierungskriterien Bestimmtheitsmaß (R^2), RPD-Wert und Standardfehler der Vorhersage (SEP). Hierbei bezeichnet der RPD das Verhältnis der Standardabweichung für die Werteverteilung im Validationsset zum Standardfehler der Vorhersage (WILLIAMS, 2001).

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Variation der Milchinhaltsstoffe ist in Tabelle 1 dargestellt. Der Wertebereich der einzelnen Inhaltsstoffe zeigte im Vergleich mit Literaturwerten (GRABOWSKI, 2000) eine große Spannweite, bei einer nicht übermäßig hohen Standardabweichung. Insbesondere der Fettgehalt der Milch unterlag mit Werten von 1,9 % bis 7,6 % hohen Schwankungen. Insgesamt lagen die Gehalte der betrachteten Inhaltsstoffe in einem zu erwartenden Bereich.

Tab. 1: Übersicht Variation Milch Inhaltsstoffe

Tab. 1: Overview variation milk composition

		Wertebereich	Mittelwert	Std-Abw
Fett [%]	Kal.	1.9–7.6	3.8	0.73
	Val.	1.9–7.4	3.8	0.74
Eiweiß [%]	Kal.	2.6–4.2	3.3	0.29
	Val.	2.6–4.1	3.3	0.29
Laktose [%]	Kal.	4.4–5.3	4.9	0.16
	Val.	4.4–5.3	4.9	0.16
Harnstoff [mg/l]	Kal.	75–399	254	48
	Val.	77–394	254	48
log Zellzahl	Kal.	3.3–6.5	4.9	0.45
	Val.	3.6–6.5	4.9	0.45

Kal. – Kalibrationsset; Val. – Validationsset; StdAbw. – Standardabweichung

Die Kennzahlen der Modellerstellung (Kalibration) und die Genauigkeit der NIRS-Schätzung für die Milch Inhaltsstoffe Fett, Eiweiß, Laktose, Harnstoff und die logarithmierte Zellzahl (Validation) für den unkorrigierten Datensatz sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Kennzahlen der Validation wiesen bei der Vorhersage des Fett- und Eiweißgehalts in Rohmilch niedrige Standardfehler der Vorhersage sowie hohe Bestimmtheitsmaße auf.

Tab. 2: Kennzahlen zur Kalibrationserstellung und Validation der Modelle einzelner Milch Inhaltsstoffe (unkorrigierter Datensatz)

Tab. 2: Calibration and validation values of individual milk constituents (uncorrected data)

	Kalibration (n = 767)		Validation (n = 384)			
	SEC	R ² cal	SEP	Bias	RPD	R ² val
Fett [%]	0.04	0.997	0.04	0.0017	17.1	0.997
Eiweiß [%]	0.09	0.897	0.11	-0.0038	2.7	0.87
Laktose [%]	0.10	0.59	0.12	0.0018	1.3	0.43
Harnstoff [mg/l]	38.83	0.35	40.31	-0.983	1.2	0.30
log Zellzahl	0.37	0.31	0.43	-0.0039	1.1	0.14

SEC – Standard Error of Calibration [Kalibrations Set] SEP – Standard Error of Prediction [Validations Set];

RPD – ratio of [standard error of] performance to [standard] deviation

Bedingt durch den niedrigen Standardfehler bei der gegebenen Standardabweichung ergab sich ein sehr hoher RPD-Wert von 17,11 für den Gehalt an Fett. Ein RPD-Wert von über 8 bezeichnet nach WILLIAMS (2001) eine sehr gute Kalibration, RPD-Werte von über 3 gelten als adäquat für analytische Zwecke in den meisten NIR-Anwendungen für landwirtschaftliche Produkte. RPD-Werte von unter 3 sind nur für ein einfaches Screening geeignet. Die Genauigkeit der NIR Vorhersage für den Gehalt an Eiweiß konnte somit als annähernd adäquat, die für die Inhaltsstoffe Laktose, Harnstoff und logarithmierte Zellzahl als nicht zufriedenstellend bezeichnet werden. Um die Vorhersagegenauigkeit

für diese Inhaltsstoffe zu verbessern, wurde daher eine Korrektur der Spektren um tierindividuelle Streulichteinflüsse der Milchprobe durchgeführt.

Die Kennzahlen zur Kalibrationserstellung und die Genauigkeit der NIRS-Schätzung für die Milchinhaltstoffe Fett, Eiweiß, Laktose, Harnstoff und die logarithmierte Zellzahl (Validation) für den um tierindividuelle Einflüsse korrigierten Datensatz sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Kennzahlen zur Kalibrationserstellung und Validation der Modelle einzelner Milchinhaltstoffe (um tierindividuelle Einflüsse korrigierter Datensatz)

Tab. 3: Calibration and validation values of individual milk constituents (individual cow effects corrected data set)

	Kalibration (n = 767)		Validation (n = 384)			
	SEC	R ² cal	SEP	Bias	RPD	R ² val
Fett [%]	0.04	0.998	0.04	0.0032	17.6	0.997
Eiweiß [%]	0.07	0.94	0.08	0.0054	3.6	0.93
Laktose [%]	0.08	0.78	0.09	0.002	1.7	0.66
Harnstoff [mg/l]	29.53	0.62	33.30	0.5115	1.5	0.53
log Zellzahl	0.33	0.48	0.35	-0.004	1.3	0.41

SEC – Standard Error of Calibration [Kalibrations Set] SEP – Standard Error of Prediction [Validations Set];

RPD – ratio of [standard error of] performance to [standard] deviation

Durch die Korrektur der NIR-Spektren um tierindividuelle Streulichteinflüsse konnte die Vorhersagegenauigkeit für alle hier dargestellten Inhaltsstoffe verbessert werden. Für die Vorhersage der Inhaltsstoffe Eiweiß, Laktose, Harnstoff und logarithmierte Zellzahl konnte ein deutlich höheres Bestimmtheitsmaß erzielt werden als mit den nicht korrigierten Spektren. Der Standardfehler der Vorhersage wies mit 0,08 bzw. 0,09 für die Inhaltsstoffe Eiweiß und Laktose bei der Kalibration mit korrigierten Spektren deutlich geringere Werte auf, als dies bei den nicht korrigierten Spektren der Fall war (0,11 bzw. 0,12 für Eiweiß und Laktose). Ein reduzierter Standardfehler der Vorhersage war weiterhin bei der Schätzung des Harnstoff und der Zellzahl zu beobachten. Niedrigere SEP Werte bewirken eine Verbesserung der RPD-Werte. Die Vorhersage der Eiweißkonzentration in der Rohmilch konnte somit als zufriedenstellend klassifiziert werden.

Die Vorhersage der Inhaltsstoffe Laktose, Harnstoff und somatische Zellzahl blieb unter Berücksichtigung der RPD-Werte, trotz einer deutlichen Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit, nach wie vor ungenügend. Ein weitergehender Vergleich zeigte jedoch, dass im Hinblick auf die in ICAR (2010) geforderte Vergleichspräzision für at-line und in-line Analysegeräte von Rohmilch mit der verwendeten Technik und chemometrischen Analyse durchaus ausreichende Genauigkeiten für die Vorhersage der Inhaltsstoffe Fett, Eiweiß und Laktose erreicht werden können (MELFSEN et al., 2011). Durch deutlich höhere Messfrequenzen von at-line und in-line Analysegeräten ist hier, im Vergleich zur Laboranalytik, eine etwas verringerte Genauigkeit ausreichend.

4 Fazit

Die Ergebnisse der chemometrischen Berechnungen der vorliegenden Untersuchung zeigten bei nicht korrigierten Rohmilchspektren sehr gute Möglichkeiten den Fettgehalt mit einem hohen Bestimmtheitsmaß zu schätzen. Akzeptable Ergebnisse wurden bei der Vorhersage der Eiweißkonzentration in Rohmilch erzielt. Die Bestimmung der Gehalte an Laktose und Harnstoff und der somatischen Zellzahl waren bisher nur mit geringen RPD-Werten und einer somit nur „ungenügenden“ Genauigkeit möglich. Eine Korrektur der NIR Spektren um tierindividuelle Streulichte effekte erhöhte die Vorhersagegenauigkeit der Nahinfrarotspektroskopie deutlich. Bei allen hier ausgewählten Milchinhaltsstoffen war es mithilfe der korrigierten Spektren möglich die Messgenauigkeit zu erhöhen.

Literatur

- Cattaneo, T. M. P.; Cabassi, G.; Profaizer, M.; Giangiacomo, R. (2009): Contribution of light scattering to near infrared absorption in milk. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 17 (6), 337–343
- Grabowski, N. T. (2000): Körpergewichtsentwicklung, Milchinhaltsstoffe und Milchmengenleistung als Kriterien zur laktationsbegleitenden Beurteilung des Gesundheitszustandes hochleistender DSB-Kühe in Laufstallhaltung. Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover
- ICAR (2010): Guidelines on On-farm Milk Analysis. ICAR Sub-Committee on Milk Analysis- Guidelines on On-farm Milk Analysis – Final Draft (3) 2010 International Committee for Animal Recording, Rom, Italien
- Jacobi, H. F.; Moschner, C. R. and Hartung, E. (2009): Use of near infrared spectroscopy in monitoring of volatile fatty acids in anaerobic digestion. *Water Science & Technology* 60 (2), 339–346
- Jacobi, H. F.; Moschner, C. R.; Hartung, E. (2011): Use of near infrared spectroscopy in online-monitoring of feeding substrate quality in anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 102 (7), 4688–4696
- Kawamura, S.; Tsukahara, M.; Natsuga, M.; Itoh, K. (2003): On-line near infrared spectroscopic sensing technique for assessing milk quality during milking. in ASAE Annual International Meeting. ASAE, Las Vegas, Nevada, USA
- Melfsen, A.; Haeussermann, A.; Hartung, E. (2011): Analyse von Milchinhaltsstoffen auf Basis der NIR Spektroskopie. In ART-Schriftenreihe 15,3. Tänniker Melktechniktagung. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tännikon (Switzerland), 27–32
- Tsenkova, R.; Atanassova, S.; Itoh, K.; Ozaki, Y.; Toyoda K. (2000): Near infrared spectroscopy for biomonitoring: Cow milk composition measurement in a spectral region from 1,100 to 2,400 nanometers. *Journal of Animal Science* 78 (3), 515–522
- Tsenkova, R.; Atanassova, S.; Ozaki, Y.; Toyoda, K.; Itoh K. (2001): Near-infrared spectroscopy for biomonitoring: influence of somatic cell count on cow's milk composition analysis. *International Dairy Journal* 11 (10), 779–783

- Tsenkova, R.; Atanassova, S.; Morita, H.; Ikuta, K.; Toyoda, K.; Iordanova, I. K.; Hakogi, E. (2006): Near infrared spectra of cows' milk for milk quality evaluation: disease diagnosis and pathogen identification. *Journal of near Infrared Spectroscopy* 14 (6), pp. 363–370
- Tsenkova, R.; Meilina, H.; Kuroki, S.; Burns, D. H. (2009): Near infrared spectroscopy using short wavelengths and leave-one-cow-out cross-validation for quantification of somatic cells in milk. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 17 (6), 345–351
- Williams, P. C., (2001): Implementation of Near-Infrared Technology. In Williams, P. und Norris, K. H. (Eds.): *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. St. Paul Minn.: American Association of Cereal Chemists, 145–170
- Zimmermann, A.; Thiessen, E.; Hartung E. (2008): Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) for a Nutrient Based Slurry Application. In: *International Conference on Agricultural Engineering*. Hersonissos, Kreta (Griechenland)

Förderungshinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Zukunftsprogramms Wirtschaft Schleswig-Holstein. Das Zukunftsprogramm Wirtschaft wird aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

Einfluss des Zitzengummityps auf die Milchmenge und den Milchfluss: Vergleich von runden und dreieckigen Zitzengummis bei Milchkühen der Rassen Fleckvieh und Deutsch Holstein

Effects of liner type on milk yield and milk flow: Comparison of liners with round and triangular barrel shapes in herds with Simmental and Holstein cows

ANGELIKA HAEUSSERMANN¹, HANS-JÜRGEN RUDOVSKY², GÜNTER SCHLAISS³,
EBERHARD HARTUNG¹

¹ Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel, Deutschland

² Flöhaer Str. 02, 04349 Leipzig, Deutschland

³ DeLaval GmbH, Wilhelm-Bergner Straße 5, 21503 Glinde, Deutschland

Die Studie wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe Melken und Melktechnik der Wissenschaftlichen Gesellschaft der Milcherzeugerberater (WGM) e.V. durchgeführt

Schlüsselwörter: Mehrebenen-Zitzengummi, Milchentzug, Zitzenmorphologie, Hyperkeratosen
Keywords: *liner barrel shape, machine milking, teat morphology, teat condition*

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund, dass es bisher kaum Studien zur Auswirkung von Zitzengummis mit dreieckig geformten Schäften (ZGS_Δ) auf den Milchentzug gibt, wurden deren Einfluss auf die Milchleistung und den Milchfluss in zwei Betrieben untersucht.

In beiden Betrieben veränderte sich der mittlere Milchfluss im Testzeitraum nachteilig wenn mit dem ZGS_Δ gemolken wurde. Ein positiver Einfluss auf die Milchmenge war zudem in der Herde Deutsch Holstein mit dem Rückwechsel zum runden Zitzengummi-schaft erkennbar.

Die Veränderung der Milchmenge und des Milchflusses wurde unter anderem auch von der Zitzenmorphologie, insbesondere der Länge und dem Durchmesser der Zitze, beeinflusst.

Summary

Experimental results on effects of liners with triangular barrels shapes (ZGS_Δ) on milking performance are still rare. Hence, this study focused on the influence of milking with ZGS_Δ on milk yield and milk flow. The experiments were done in two farms with two different dairy breeds.

In both farms, the average milk flow was affected negatively during the period in which cows were milked with ZGS_Δ. Furthermore, changeover back to the round barrel liner had a positive effect on milk yield in the Holstein herd.

The changes in milk yield and milk flow were influenced, among others, by the morphology of the teats, particularly teat length and teat diameter.

1 Einleitung und Zielsetzung

Die Art und Intensität der Massagewirkung auf die Zitze während des maschinellen Milchentzugs wird von der Größe der Zitze, den Materialeigenschaften des Zitzengummis, dessen Bewegungsverhalten, den Pulsationsverhältnissen und der Vakuumbreite an der Zitze beeinflusst. Nur wenn deren Zusammenspiel funktioniert, wird die natürliche Abwehrfunktion der Zitze unterstützt und eine optimale Milchflussrate und ein optimaler Ausmelkgrad erzielt. Über einen Halbeuterversuch in viertelindividuell melkenden Systemen können Einflussfaktoren, wie z. B. unterschiedliche Arten von Zitzengummis, direkt verglichen werden. Hierbei wird der Sachverhalt genutzt, dass sich die beiden Viertel vorne und die beiden Viertel hinten bei gesunden Milchkühen und gleichen äußeren Einflüssen nur sehr geringfügig unterscheiden. Vor dem Hintergrund, dass Zitzengummis mit dreieckig geformten Schäften zunehmend Interesse wecken, es bisher jedoch kaum Studien zu deren Auswirkung auf den Milchentzug gibt, war das Ziel der vorliegenden Untersuchung, Zitzengummis mit rundem und dreieckigem Schaft mit Blick auf die Variablen Milchfluss und Milchleistung zu vergleichen.

2 Hintergrund der Untersuchung

Mehrebenenitzengummis (dreieckig bzw. viereckig geformter Schaft) werden in erster Linie eingesetzt, um die Ausprägung von Hyperkeratosen an der Zitzenspitze zu verringern. Diese kann unter anderem durch den Melkvorgang, Dippmittel oder witterungsbedingte Einflüsse (NELJENHUIS, 2004; OHNSTAD et al., 2007; HAEUSSERMANN et al., 2009; RUDOVSKY et al.; 2011) verstärkt werden. Ergebnisse, die eine Verringerung der Ausprägung von Hyperkeratosen durch den Einsatz von Mehrebenenitzengummis beschreiben, finden sich zum Beispiel in Untersuchungen von SCHUKKEN et al. (2006) und KOCHMAN und LANEY (2009). Ursache hierfür ist die veränderte Druckwirkung auf die Zitze während der Entlastungsphase. Den Einfluss eines zu hohen Massagedrucks auf Hyperkeratosen an der Zitzenspitze stellt MEIN et al. (2003) anschaulich dar. Ein zu niedriger Massagedruck verursacht demgegenüber Kongestionen und Ödeme an der Zitzenkuppe (HAMANN, 1989; MEIN et al., 2003). In diesem Fall wäre ein negativer Einfluss auf die Höhe des Milchflusses und die Abwehrfunktion der Zitze zu erwarten.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsbetriebe

Die Untersuchung wurde in zwei Milchviehbetrieben mit Automatischem Melksystem (VMS, DeLaval; Betriebsvakuum 48 kPa) durchgeführt. Gemolken wurden im Betrieb A etwa 60 Tiere der Rasse Fleckvieh mit einer mittleren Jahresleistung, entsprechend MLP, von 8 546 kg Milch. Die Tiere befanden sich während der Untersuchung in der ersten bis fünften Laktation (\bar{x} 2,3). Gemolken wurden sie durchschnittlich 2,6-mal pro Tag, mit einer Spannweite von einer bis zu fünf Melkungen pro Tag.

Im Betrieb B wurden 52 Tiere der Rasse Deutsch Holstein mit einer mittleren Jahresleistung von 8 255 kg Milch gemolken. Die Tiere befanden sich während der Untersuchung in der ersten bis neunten Laktation (\bar{x} 2,4). Gemolken wurden sie durchschnittlich 2,8-mal pro Tag, mit einer Spannweite von einer bis zu fünf Melkungen pro Tag.

3.2 Durchführung der Versuche

In beiden Betrieben war der Versuchszeitraum jeweils in die drei Teilzeiträume vor (O_v), während (Δ) und nach (O_n) dem Vergleich unterschiedlicher Zitzengummis aufgeteilt (Tab. 1). Der Gesamtversuchszeitraum für die Auswertung der Daten erstreckte sich in Betrieb A über 12 Monate, in Betrieb B über etwa 5 Monate.

Tab. 1: Versuchszeiträume

Tab. 1: *Experimental periods*

Zeitraum		O_v	Δ	O_n
Zitzengummityp ¹⁾	Links	ZGS ₀	ZGS ₀	ZGS ₀
	Rechts	ZGS ₀	ZGS _{Δ}	ZGS ₀
Betrieb A / (Rasse: FV)		01 Aug – 20 Nov	21 Nov – 23 Mar	24 Mar – 31 Jul
Betrieb B / (Rasse: DH)		03 Sep – 16 Okt	17 Okt – 03 Dez	17 Dez – 24 Jan

¹⁾ Zitzengummis mit einem rund (ZGS₀) bzw. dreieckig geformten (ZGS _{Δ}) Zitzengummischaft.

Ein Zitzengummiwechsel wurde in beiden Betrieben entsprechend der üblichen Wechselintervalle der Betriebe durchgeführt. Innerhalb des Zeitraums Δ wurden die Zitzengummis im Betrieb A viermal, im Betrieb B zweimal gewechselt. Das während der Untersuchung verwendete Referenzzitzengummi ZGS₀ mit einem rund geformten Schaft (DeLaval, Art.-Nr. 927259-01 Betrieb A; 999009-01 Betrieb B) war in beiden Betrieben bereits vor Versuchsbeginn im Einsatz. Im Zeitraum O_v wie auch im Zeitraum O_n waren alle vier Melkbecher mit Zitzengummis des Typs ZGS₀ ausgestattet (Tab. 1). Im Zeitraum Δ waren die beiden Melkbecher der linken Euterseite mit Zitzengummis des Typs ZGS₀, die beiden Melkbecher der rechten Euterseite demgegenüber mit Zitzengummis mit einem dreieckig geformten Schaft ZGS _{Δ} (Milkrite, Art.-Nr. TLC-A6) ausgestattet. Verwendet wurden in beiden Fällen die für die runden Zitzengummis üblichen, rund geformten Becherhülsen (DeLaval) und die für diese Becherhülsen vertrieben ZGS₀ und ZGS _{Δ} . Die Viertel der rechten Euterhälfte, die im Zeitraum Δ mit Zitzengummis des Typs ZGS _{Δ} gemolken wurden, werden nachfolgend in allen drei Zeiträumen als Δ -Viertel bezeichnet; die Viertel der linken Euterhälfte als O-Viertel.

3.3 Datenaufbereitung

Die Daten zum Milchentzug wurden jeweils durch das Melksystem erfasst und im VMS Herdenmanagementprogramm aufgezeichnet. Der mittlere und höchste Milchfluss wurde je Tag gemittelt, die Tagesmilchmenge aufsummiert. Milchflüsse, deren Wert Null betrug, wurden vor der Mittelwertbildung gelöscht. Entfernt wurden nachfolgend aus dem Datensatz weiterhin folgende Tage:

- Tage, an denen eine Bonitur oder ein Zitzengummiwechsel durchgeführt wurde,

- Tage, an denen die rechts-links Differenz der vorderen oder der hinteren Viertel der gesamten Herde bezüglich der Milchmenge oder des Milchflusses um mehr als zwei Standardabweichung vom Mittelwert der Herde abwich.

Des Weiteren wurden folgende Tiere aus dem Datensatz entfernt:

- Tiere mit atrophierten Vierteln (Betrieb A: $n = 2$; B: $n = 10$),
- Tiere, deren Vierteldifferenz, z.B. aufgrund einer Infektion bzw. nicht näher untersuchten Ursachen, um mehr als zwei Standardabweichungen von der Herde abwich (Betrieb A: $n = 13$; B: $n = 7$) sowie
- Tiere, die nur in einem bzw. in zwei der drei Zeiträume gemolken wurden (Betrieb A: $n = 11$; B: $n = 15$).

Für die Auswertung verblieben in Betrieb A 43 Tiere, in Betrieb B 20 Tiere im Datensatz, deren Milchmenge und Milchfluss je Zeitraum zu jeweils einem Wert je Tier gemittelt wurden. Die statistische Auswertung wurde, sofern nicht anders angegeben, anhand der Veränderung der Vierteldifferenz zwischen rechtem und linkem Viertel durchgeführt (T-Test für verbundene Stichproben vor und nach einer Veränderung; SPSS Vers. 17 und 19). Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest überprüft. Die Auswertung stützt sich auf die Annahme, dass die Differenz zwischen rechtem und linkem Euterviertel hauptsächlich durch den Melkvorgang, in diesem Fall durch das verwendete Sitzgummi, beeinflusst wurde.

4 Ergebnisse

4.1 Milchmenge und Milchfluss

Um laktationsbedingte Einflüsse auf die Auswertung zu verringern, wurden nicht die absoluten Werte betrachtet, sondern die Differenz zwischen Viertelpaaren einer Euterhälfte. Der Einfluss des Sitzgummityps auf die Milchmenge und den Milchfluss wurde durch die Veränderung der Vierteldifferenz (Δ -Viertel zu 0-Vierteln) in den Zeiträumen Δ und O_n ermittelt. Vergleichszeitraum war jeweils der vorhergehende Zeitraum. Die in den drei Zeiträumen ermittelte Vierteldifferenz ist, separat für die hinteren und vorderen Viertel, in den Tabellen 2 (Betrieb A) und 3 (Betrieb B) dargestellt.

Betrieb A: Rasse Fleckvieh

Die durchschnittliche Milchmenge je Kuh und Tag stieg über den Gesamtversuchszeitraum, ausgehend von 23,3 kg im Zeitraum O_v über den Zeitraum Δ mit 25,0 kg zum Zeitraum O_n mit 30,9 kg, laktationsbedingt an. Die Tiere waren in den Zeiträumen O_v , Δ bzw. O_n im Mittel 155, 153 und 147 Tage laktierend. Von den 43 betrachteten Tieren veränderten 35 entweder während eines Zeitraums oder zwischen zwei Zeiträumen ihre Laktationsnummer. Entsprechend der Milchmenge stieg auch der mittlere Milchfluss je Viertel über den Gesamtversuchszeitraum an, mit im Mittel 0,85 kg/min im Zeitraum O_v , 0,87 kg/min im Zeitraum Δ und 1,00 kg/min im Zeitraum O_n . Über die drei Zeiträume wurde folgende Veränderung der Vierteldifferenz beobachtet (Tab. 2):

- **Zeitraum O_v :** Die Δ -Viertel wiesen zu Versuchsbeginn im Mittel eine um 220 g pro Tag höhere Milchleistung auf als die 0-Viertel. Die Abweichung war nicht signifikant. Der mittlere Milchfluss der Δ -Viertel war im Mittel um 46 g/min höher (hintere

Viertel; $p = 0,026$) bzw. um 26 g/min niedriger (vordere Viertel; n. s.). Ebenso unterschied sich der höchste Milchfluss der Δ -Viertel von dem der O-Viertel ($p = 0,003$).

- **Zeitraum Δ :** Eine signifikante Veränderung war für die Vierteldifferenz des mittleren Milchflusses der hinteren Viertel erkennbar. Im Vergleich zum Zeitraum O_v hatte sich die Vierteldifferenz zu Ungunsten der Δ -Viertel verändert ($p = 0,014$), wodurch sich die im vorhergehenden Zeitraum bestehende Differenz des mittleren Milchflusses zu den O-Vierteln ausglich. Eine tendenziell ähnliche Entwicklung (n. s.) war für die Milchmenge der hinteren Viertel zu beobachten.
- **Zeitraum O_n :** Eine signifikante Veränderung war gegenüber dem Zeitraum Δ für den höchsten Milchfluss der hinteren Viertel ($p = 0,045$) und im Vergleich der Zeiträume O_n und O_v für die Milchmenge der hinteren Viertel ($p = 0,014$) erkennbar.

Tab. 2: Mittlere Vierteldifferenz* in den Zeiträumen vor (O_v), während (Δ) und nach (O_n) dem Einsatz des ZGS $_{\Delta}$ (Betrieb A, Rasse Fleckvieh)

Tab. 2: Mean difference between quarters in the periods before (O_v), during (Δ) and after (O_n) milking with the ZGS $_{\Delta}$ (farm A; Simmental cows)

Euterhälfte	Milchmenge/Tag, kg		Mittlerer Milchfluss, g/min		Höchster Milchfluss, g/min	
	Hinten	Vorne	Hinten	Vorne	Hinten	Vorne
Zeitraum O_v	+0,22 ^a	+0,22 ^a	+46 ^a	-26 ^a	+74 ^a	-55 ^a
Zeitraum Δ	-0,08 ^{a, b}	+0,15 ^a	0,0 ^b	-36 ^a	+44 ^a	-47 ^a
Zeitraum O_n	-0,36 ^b	+0,09 ^a	-14 ^b	-24 ^a	+11 ^b	-41 ^a

^{a, b} Werte mit verschiedenen Kennzahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

* positive Werte kennzeichnen eine/n höhere/n Milchmenge/Milchfluss der Δ -Viertel

Betrieb B: Rasse Deutsch Holstein

Die durchschnittliche Milchmenge je Kuh und Tag fiel über den Versuchszeitraum, ausgehend von 23,0 kg im Zeitraum O_v über den Zeitraum Δ mit 22,8 kg zum Zeitraum O_n mit 20,8 kg, laktationsbedingt etwas ab. Die Tiere waren in den Zeiträumen O_v , Δ bzw. O_n im Mittel 182, 203 und 239 Tage laktierend. Zwei Tiere veränderten während eines Zeitraums ihre Laktationsnummer. Der mittlere Milchfluss je Viertel variierte von im Mittel 0,89 kg/min im Zeitraum O_v , über 0,80 kg/min im Zeitraum Δ zu 0,83 kg/min im Zeitraum O_n . Über die drei Zeiträume wurde folgende Veränderung der Vierteldifferenz beobachtet (Tab. 3):

- **Zeitraum O_v :** Die Δ -Viertel hinten wiesen zu Versuchsbeginn im Mittel eine um 530 g ($p = 0,023$) niedrigere Tagesmilchmenge, einen um 83 g/min niedrigeren mittleren Milchfluss ($p = 0,006$) und einen um 150 g/min niedrigeren höchsten Milchfluss ($p = 0,000$) auf als die O-Viertel hinten. Die Unterschiede zwischen den Vordervierteln waren deutlich geringer und nicht signifikant.
- **Zeitraum Δ :** Erkennbar war eine signifikante Veränderung für die Vierteldifferenz des mittleren und höchsten Milchflusses der Vorderviertel. Im Vergleich zum Zeitraum O_v hatte sich die Vierteldifferenz in beiden Fällen zum Nachteil der Δ -Viertel verändert ($p < 0,05$).
- **Zeitraum O_n :** Erkennbar war eine signifikante Veränderung der Vierteldifferenz im Vergleich zum Zeitraum Δ für alle betrachteten Variablen (Milchmenge: $p < 0,05$;

Milchfluss: $p < 0,01$). Diese war in allen Fällen zum Vorteil der, in diesem Zeitraum wieder mit dem ZGS₀ gemolkenen, Δ -Vierteil.

Tab. 3: Mittlere Vierteldifferenz* in den Zeiträumen vor (O_v), während (Δ) und nach (O_n) dem Einsatz des ZGS $_{\Delta}$ (Betrieb B, Rasse Deutsch Holstein)

Tab. 3: Mean difference between quarters in the periods before (O_v), during (Δ) and after (O_n) milking with the ZGS $_{\Delta}$ (farm B, German holstein cows)

Euterhälfte	Milchmenge/Tag, kg		Mittlerer Milchfluss, g/min		Höchster Milchfluss, g/min	
	Hinten	Vorne	Hinten	Vorne	Hinten	Vorne
Zeitraum O_v	-0,53 ^a	-0,07 ^a	-83 ^a	-19 ^a	-150 ^a	-35 ^a
Zeitraum Δ	-0,40 ^a	+0,02 ^a	-110 ^a	-61 ^b	-181 ^a	-112 ^b
Zeitraum O_n	-0,11 ^b	+0,30 ^b	-49 ^b	+58 ^c	-73 ^b	+132 ^c

^{a, b} Werte mit verschiedenen Kennzahlen in einer Spalte unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

* negative Werte kennzeichnen eine/n niedrigere/n Milchmenge/Milchfluss der Δ -Vierteil

4.2 Einfluss der Zitzenmorphologie

Angaben zur Zitzenmorphologie (Länge, Durchmesser, Kuppenform) lagen in Betrieb A für 20 der betrachteten 43 Tiere vor, in Betrieb B für alle 20 betrachteten Tiere. In Betrieb A wurden Zitzenlängen von 3–7 cm und Durchmesser von 25–31 mm erfasst, in Betrieb B Zitzenlängen von 3–8 cm und Durchmesser von 21–34 mm. Die Mehrzahl der Zitzenkuppen waren „rund“ geformt, zu geringeren Anteilen „flach“ oder „nach innen“ gerichtet. In Betrieb A wurden etwas mehr als die Hälfte der Zitzen der Δ -Vierteil in die Kategorie kurz (Länge ≤ 5 cm) und dick (Durchmesser > 26 mm) eingeordnet, in Betrieb B ergab sich eine etwas gleichmäßigere Verteilung in den vordefinierten Kategorien (Tab. 4).

Tab. 4: Anzahl an Zitzen (Δ -Vierteil) in verschiedenen Zitzenkategorien

Tab. 4: Number of teats (test quarters Δ) in different teat classes

Zitzenlänge	Durchmesser ≤ 26 mm			Durchmesser > 26 mm		
	L < 5 cm	L = 5 cm	L > 5 cm	L < 5 cm	L = 5 cm	L > 5 cm
Betrieb A ¹⁾	5	1	1	14	7	12
Betrieb B ²⁾	9	7	6	3	3	12

¹⁾ Fleckvieh. ²⁾ Deutsch Holstein.

Betrieb A: Rasse Fleckvieh

Ein relativer Rückgang des mittleren Milchflusses um mehr als 0,2 kg/min bis zu 0,4 kg/min auf einem der beiden Δ -Vierteil hinten oder vorne war im Zeitraum Δ bei insgesamt fünf Tieren zu beobachten, ausschließlich bei kurzen Zitzen (Länge < 5 cm; bei einem der Tiere nicht bekannt). Die relative Tagesmilchmenge der entsprechenden Viertel fiel im gleichen Zeitraum im Mittel um 1,86 kg ($-0,5$ bis $-5,0$ kg) im nachfolgenden Zeitraum O_n stieg sie im Mittel um 1,14 kg ($-1,29$ bis $+1,83$ kg). Diese fünf Viertel wurden im Zeitraum Δ eindeutig negativ beeinflusst. Im Gegensatz hierzu wurden zwei Δ -Vierteil im Zeitraum Δ positiv beeinflusst und zeigten einen relativen Anstieg des mittleren Milchflusses um mehr als 0,2 kg/min im Zeitraum Δ (1 Tier) und/oder einen relativen Rück-

gang des mittleren Milchflusses um mehr als 0,2 kg/min im nachfolgenden Zeitraum O_n (2 Tiere). Beide Viertel wiesen eine Zitzenlänge von mehr als 5 cm auf (Durchmesser > 26 mm). Ein darüber hinausgehender eindeutiger Einfluss der Zitzenabmessungen auf die Milchmenge oder den Milchfluss war nicht zu erkennen. Allerdings fiel auf, dass ein signifikanter Einfluss auf die Milchmenge und den Milchfluss nur für die hinteren, kürzeren Zitzen festzustellen war.

Betrieb B: Rasse Deutsch Holstein

Zitzen der Δ -Viertel mit kurzen Abmessungen (Länge ≤ 5 cm) und einem Durchmesser von über 26 mm ($n = 6$) wiesen im Zeitraum Δ eine um 0,45 kg verringerte Tagesmilchmenge (relative Milchmenge bezogen auf die Vierteldifferenz im vorhergehenden Zeitraum) auf und unterschieden sich diesbezüglich signifikant ($p = 0,017$, Kruskal-Wallis-Test) von den anderen Zitzenkategorien (Abb. 1). Im Zeitraum O_n war ein deutlicher Anstieg der relativen Tagesmilchmenge der Δ -Viertel, im Mittel um 0,29 kg, in allen Zitzenkategorien erkennbar (Abb. 1; Tab. 3).

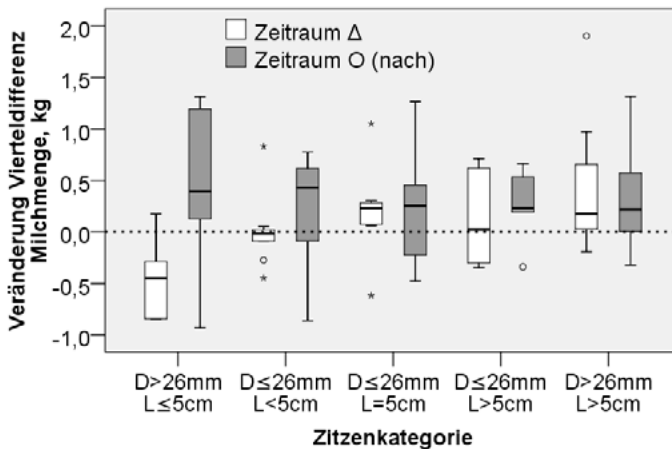


Abb. 1: Relative Veränderung der Tagesmilchmenge der Δ -Viertel in den Zeiträumen Δ und O_n , jeweils im Vergleich zum vorhergehenden Zeitraum

Fig. 1: Relative change of daily milk yield at test quarters Δ in the periods Δ and O_n , both compared to the respective preceding period

Der mittlere und höchste Milchfluss (relativer Milchfluss bezogen auf die Vierteldifferenz im vorhergehenden Zeitraum) der Δ -Viertel ging im Zeitraum Δ im Mittel um 35 g/min bzw. 54 g/min zurück und stieg im Zeitraum O_n im Mittel um 90 g/min bzw. 176 g/min an (Tab. 3). Die verschiedenen Zitzenkategorien unterschieden sich diesbezüglich nur tendenziell (Abb. 2).

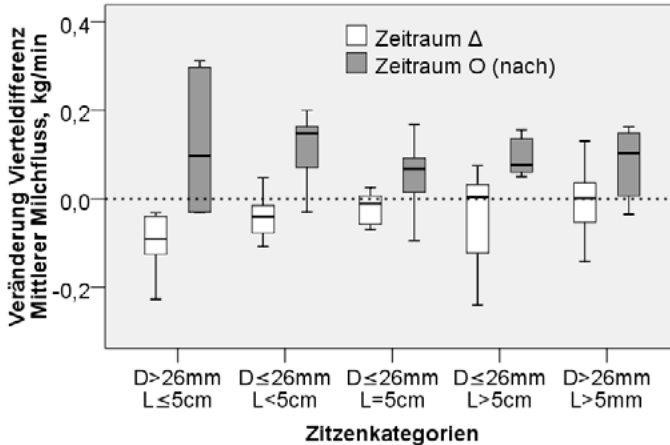


Abb. 2: Relative Veränderung des mittleren Milchflusses der Δ -Viertele in den Zeiträumen Δ und O_n , jeweils im Vergleich zum vorhergehenden Zeitraum

Fig. 2: Relative change of average milk flow at test quarters Δ in the periods Δ and O_n , both compared to the respective preceding period

5 Schlussfolgerungen

Der im Versuchszeitraum in einem Halbeuterversuch getestete dreieckig geformte Zit-zengummischicht übte einen Einfluss sowohl auf die ermolkenen Milchmenge als auch auf die Höhe des Milchflusses aus:

In Betrieb A (Rasse Fleckvieh) war ein negativer Einfluss auf die relative Höhe (Vierteldifferenz) des mittleren Milchflusses der hinteren Δ -Viertele erkennbar. Die relative Milchmenge der hinteren Δ -Viertele wurde sowohl im Zeitraum, in dem der ZGS_{Δ} eingesetzt wurde, als auch im nachfolgenden Zeitraum verringert. Der dadurch bedingte Rückgang der Milchmenge über den Gesamtversuchszeitraum war signifikant, konnte aber nicht eindeutig einem der beiden Zitengummitypen zugeordnet werden;

In Betrieb B (Rasse Deutsch Holstein) war ein negativer Einfluss auf die relative Höhe (Vierteldifferenz) des mittleren und des höchsten Milchflusses der Δ -Viertele erkennbar, der in diesem Fall für die vorderen Viertele signifikant war. Sowohl die relative Milchmenge als auch die relative Höhe des mittleren und höchsten Milchflusses veränderten sich mit dem Rückwechsel zum ZGS_0 zum Vorteil dieser Viertele.

Die Veränderung der Milchmenge und des Milchflusses wurde, neben weiteren tier-individuellen Einflüssen, auch von der Zitzenmorphologie, insbesondere der Länge und dem Durchmesser der Zitze beeinflusst. Zitzen mit einer Länge unter 5 cm reagierten in der Tendenz deutlicher mit einem Rückgang der Milchmenge und/oder des Milchflusses als längere Zitzen. Dies galt vermehrt, aber nicht ausschließlich, für Zitzen mit einem Durchmesser von mehr als 26 mm.

Literatur

- Haeussermann, A.; Melfsen, A.; Toensfeldt, H.; Brandt, M.; Hartung, E. (2009): Influence of Milking Technology on the Frequency and Severity of Hyperkeratoses at the Teat End. Proc. XIV ISAH Congress, Vechta, Germany, 123–126
- Hamann, J. (1989): Maschinelles Milchentzug und Mastitis. Zum Einfluss des maschinellen Milchentzugs auf die Infektionsgefahr für die bovine Milchdrüse. Habilitationsschrift. Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart, Deutschland
- Kochman, A. K.; Laney, C. (2009): The effect of liner barrel shape on teat end condition. Proc. 48th Annual Meeting of the National Mastitis Council, 230–231
- Mein, G. A.; Williams, D. M. D.; Reinemann, D. J. (2003): Effects of milking on teat-end hyperkeratosis: Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat. Proc. 42nd Annual Meeting of the National Mastitis Council, Fort Worth Texas, USA
- Neijenhuis, F. (2004): Teat condition in dairy cows. Ph.D. thesis, Utrecht University, The Netherlands
- Ohnstad, I.; Mein, G. A.; Baines, J. R.; Rasmussen, M. D.; Farnsworth, R.; Pocknee, B.; Hemling, T. C.; Hillerton J. E. (2007): Addressing Teat Condition Problems. 46th Annual Meeting of the National Mastitis Council, San Antonio, Texas, USA
- Rudovsky, H.-J.; Pache, S.; Schulz, J. (2011): Hyperkeratosen – Wo liegen die Ursachen? Tagungsband der 3. Tänniker Melktechniktagung – Optimierte Milchgewinnung. ART-Schriftenreihe 15, Forschungsanstalt Agroscope-Reckenholz-Tänikon, Schweiz, 75–78
- Schukken, Y. H.; Petersson, L. G.; Rauch, B. J. (2006): Liners and teat end health. Proc. 45th Annual Meeting of the National Mastitis Council, 183–196

Zur Prävalenz von Zitzenkonditionsstörungen in nord- und mitteldeutschen Milchviehherden

Prevalence of teat condition problems in dairy farms in Northern and Middle Germany

JAN-HENDRIK PADUCH, HILKE HAVERKAMP, DORIS KLOCKE, ISMAIL M. ABOGRARA, CLAUDIA ZINKE, VOLKER KRÖMKER

Fachhochschule Hannover, Heisterbergallee 12, 30453 Hannover, Deutschland

Schlüsselwörter: Hyperkeratosen, Ödem, Zitzengewebe, maschinelles Melken, Milchentzug

Keywords: hyperkeratosis, oedema, teat tissue, machine milking

Zusammenfassung

In dieser Prävalenzstudie wurden in 16 zufällig ausgewählten nord- und mitteldeutschen Milchviehherden mit Tieren der Rasse Deutsche Holstein einmalig Zitzenformen, Zitzenmaße und Zitzenkonditionsdaten sowie das Milchabgabeverhalten von 8863 Tieren erfasst. Ödematöse Veränderungen des Zitzengewebes waren nach der Melkzeugabnahme bei 78,1 % der Vorder- und 81,1 % der Hinterzitzen festzustellen. Ausgeprägte Hyperkeratosen traten bei 54,6 % der Vorder- und 48,7 % der Hinterzitzen auf. Insgesamt wurden 64,4 % der Melkungen als zu langsam eingestuft. Die Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass zukünftig in kommerziellen Milchviehherden eine Verbesserung der Massagewirkung auf das Zitzengewebe durch die Anpassung des Zitzengummis an die populationsspezifischen Zitzenmaße sowie eine Erhöhung der Melkgeschwindigkeit angestrebt werden müssen, um die Abwehrsituation im Bereich der Zitzenspitze aufrechtzuerhalten.

Summary

In the present prevalence study teat and teat end shapes, teat dimensions and changes in teat condition as well as milking characteristics were investigated in 8863 animals in 16 Northern and Middle German dairy farms. After detachment of milking clusters swelling of teat tissue was detected by palpation in 78.1 % of front and 81.1 % of rear teats. Rough to very rough rings around the teat orifice as a consequence of a non-physiological teat-end hyperkeratosis were observed in 54.6 % of front and 48.7 % of rear teats. The milking duration of 64.4 % of the analyzed milkings was too high. The results indicate that in future in commercial dairy herds keeping cattle of the breed German Holstein the massage of the teat end and the teat barrel should be improved by adaption of liners to herd-specific teat dimensions and, in addition, the cow-individual milking duration should be reduced to maintain defense mechanisms at teat tip.

1 Einleitung und Zielsetzung

Bovine Mastitiden sind Infektionen der Milchdrüse mit infektiösen, toxischen oder traumatischen Ursachen (IDF, 1987), die in Deutschland nach Schätzung der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) jährlich zu ökonomischen Verlusten in Höhe von 1,4 Milliarden € führen (DVG, 2002). Die Zitzenspitze stellt mit dem Zitzenkanal eine physikalische Barriere für invadierende euterpathogene Mikroorganismen dar (SORDILLO et al., 1997). Zur Aufrechterhaltung der Abwehrsituation im Bereich der Zitzenspitze ist es notwendig, dass das Zitzengewebe kontinuierlich mit frischem, sauerstoffreichem Blut versorgt wird (HAMANN und MEIN, 1996). In verschiedenen Arbeiten konnte bislang aufgezeigt werden, dass akute (Kongestionen, Ödeme) und chronische Zitzenkonditionsstörungen (Hyperkeratosen), die durch den maschinellen Milchentzug induziert werden, Risikofaktoren für die Mastitisentstehung darstellen können (ZECCONI et al., 1996; NEIJENHUIS et al., 2004). Die Zitzen sollen daher nach Melkzeugabnahme rosa, glatt und trocken sein (KRÖMKER, 2007).

Das Ziel dieser Prävalenzstudie war neben der Erfassung der Zitzenmaße und Zitzenkonditionsstörungen die Charakterisierung von Melkdauer und -geschwindigkeit in nord- und mitteldeutschen Milchviehbetrieben.

2 Material und Methoden

16 kommerzielle nord- und mitteldeutsche Milchviehherden mit Tieren der Rasse Deutsche Holstein, Farbrichtung Schwarzbunt, wurden für diese Studie, die zwischen Mai 2009 und November 2010 durchgeführt wurde, zufällig ausgewählt.

Für die rechten Vorder- und Hinterviertel wurden einmalig Zitzenlängen, Zitzen Durchmesser 1 cm oberhalb der Zitzenspitze sowie Zitzen- und Zitzenkuppenformen nach GRUNERT (1990) bestimmt.

Die Untersuchung akuter und chronischer Zitzenkonditionsstörungen wurde in Anlehnung an MEIN et al. (2001) adspektorisch und palpatorisch an den vorderen und hinteren rechten Zitzen durchgeführt. Neben der Zitzenfarbe mit den Kategorien „blass“, „rosa“ und „blau“ wurden Ödeme der Zitzenspitze und des Zitzenschafes sowie Ringwülste an der Zitzenbasis als akute Zitzenkonditionsstörungen aufgenommen. Hyperkeratosen des Zitzenkanalepithels wurden in Abhängigkeit von ihrer Ausprägung einer von vier Klassen zugeordnet. Hyperkeratosen, die als glatte, weiße Ringe ausgeprägt waren, wurden in die Kategorie 1 eingestuft, raue oder sehr raue Ringe bis fortsatzartige Hyperkeratosen in die Kategorie 2 bzw. 3. Keine sichtbaren Verschielungen an der Zitzenkanalöffnung führten zu der Einordnung in die Klasse 0.

Chronische Zitzenkonditionsstörungen wurden vor und akute Zitzenkonditionsstörungen nach dem maschinellen Milchentzug bestimmt. Der Ausmelkgrad wurde nach DAVIS und REINEMANN (2001) bewertet. Das Milchabgabeverhalten wurde auf Einzeltierniveau mithilfe der Lactocorder-Technik oder der Milchmengenerfassung des Betriebes ermittelt.

3 Ergebnisse

In die Untersuchungen wurden insgesamt 8863 Tiere aus 16 Betrieben einbezogen.

98,8 % der Vorderzitzen und 99,5 % der Hinterzitzen der untersuchten Tierpopulation wiesen eine normale Zitzenform auf. 82,3 % der Vorder- und 82,6 % der Hinterzitzen verfügten über eine runde Zitzenkuppe.

Im Mittel betrug die Länge der Vorderzitzen (Hinterzitzen) 51 ± 8 mm (46 ± 8 mm) bei einem mittleren Durchmesser von 22 ± 3 mm (21 ± 3 mm) (Abb. 1).

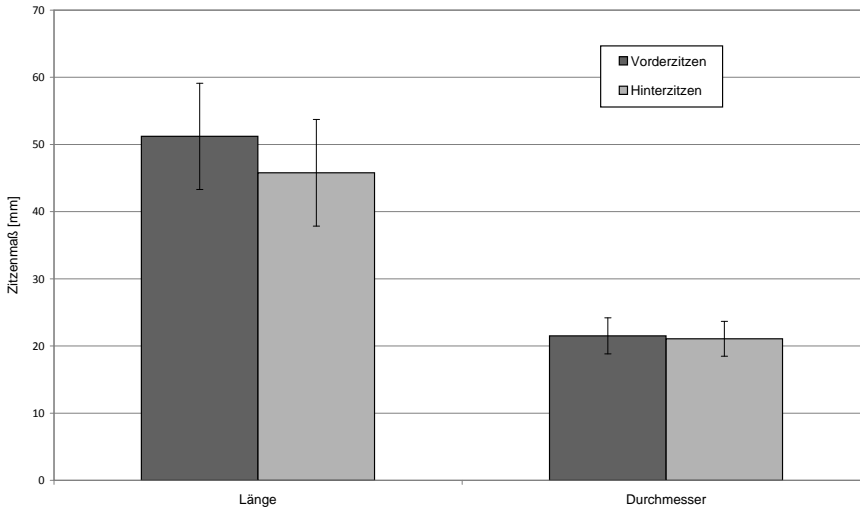


Abb. 1: Mittlere Zitzenlängen und -durchmesser (+/- Standardabweichung) bei Tieren der Rasse Deutsche Holstein (n = 8863 Tiere)

Fig. 1: Average teat lengths and diameters (+/- standard deviation) in German Holstein dairy cattle (n = 8863 animals)

Insgesamt wurden bei 78,1 % der Vorder- und 81,1 % der Hinterzitzen nach der Melkzeugabnahme ödematöse Gewebeveränderungen palpatorisch festgestellt. Zyanotische Verfärbungen als Indikator für eine eingeschränkte Versorgung des Zitengewebes mit sauerstoffreichem Blut wurden bei 51,8 % der Vorder- und 52,3 % der Hinterzitzen nach dem maschinellen Milchentzug beobachtet.

25,5 % der Vorder- und 33,9 % der Hinterzitzen wiesen Ringe an der Zitzenbasis auf. Hyperkeratosen des Zitzenkanalepithels, die im Bereich der Zitzenkanalöffnung als raue (Kategorie 2) bis sehr raue Ringe oder Keratinfortsätze (Kategorie 3) ausgeprägt waren, wurden bei 54,6 % der Vorder- und 48,7 % der Hinterzitzen nachgewiesen (Abb. 2).

Die Melkdauer der untersuchten Melkungen lag im Mittel bei 390 ± 128 s (Minimum: 35 s; Maximum: 1620 s). Für die untersuchte Tierpopulation konnte bei einer mittleren Milchmenge von $13,2 \pm 5,8$ kg eine mittlere Melkgeschwindigkeit von $2,1 \pm 0,9$ kg/min ermittelt werden.

Bei nur 9 % der Tiere trat ein unzureichender Ausmelkgrad (> 400 g lose Restmilch) auf.

Die statistische Analyse mit gemischten linearen Modellen zeigte, dass Ganzzitzen-ödeme signifikant häufiger bei sehr kurzen Zitzen auftraten. Die Entstehung von Zitzen-spitzenödem, die erheblich die chronische Zitzenkondition beeinflussen, wird neben dem Laktationstag durch die Melkgeschwindigkeit, die individuelle Melkdauer sowie durch die Länge und den Durchmesser der Zitzen bestimmt.

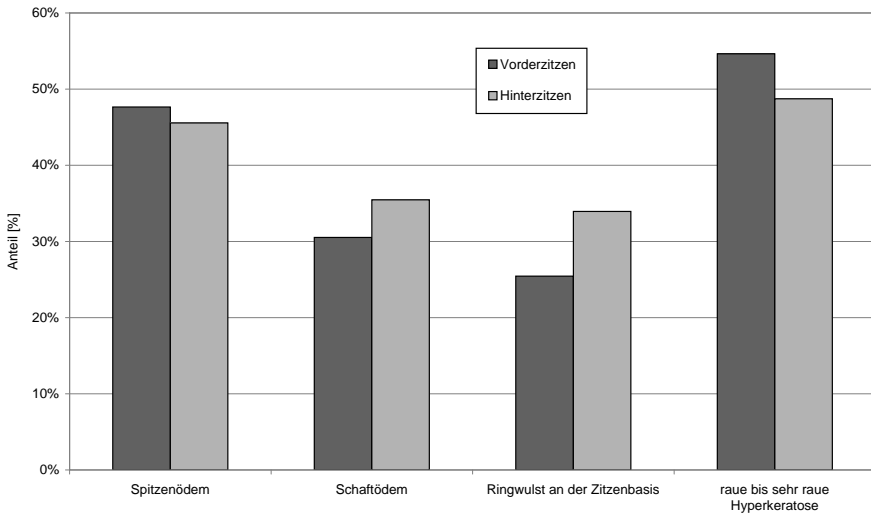


Abb. 2: Prävalenz von Zitzenkonditionsstörungen bei Tieren der Rasse Deutsche Holstein ($n = 8863$ Tiere)
 Fig. 2: Prevalence of changes in teat condition in German Holstein dairy cattle ($n = 8863$ animals)

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieser Studie konnte gezeigt werden, dass ein hoher Anteil der in die Untersuchungen einbezogenen Tiere Zitzenkonditionsstörungen in Folge des maschinellen Milchentzugs aufwies. Deutlich ausgeprägte Hyperkeratosen des Zitzenkanalepithels, die nach NEIJENHUIS et al. (2004) als nicht-physiologisch einzustufen sind, wurden bei insgesamt 51,7 % der Zitzen der untersuchten Tierpopulation nachgewiesen.

Ödematöse Veränderungen des Zitzengewebes konnten bei über 78 % der Zitzen festgestellt werden. Über 50 % der Zitzen waren nach der Melkzeugabnahme deutlich blau verfärbt. Sowohl ödematöse als auch zyanotische Gewebeveränderungen stellen Indikatoren für Flüssigkeitsansammlungen im Zitzengewebe sowie für eine beeinträchtigte Mikrozirkulation und eine unzureichende Sauerstoffversorgung des Gewebes dar (HAMANN und MEIN, 1996).

Nach den Empfehlungen von MEIN et al. (2001) dürfen maximal 20 % der Tiere eines Bestandes eine oder mehrere Zitzen mit ödematösen Veränderungen oder ausgeprägten Hyperkeratosen aufweisen. Die Autoren verweisen darauf, dass das verstärkte Auftreten akuter und chronischer Zitzenkonditionsstörungen auf den maschinellen Milchentzug zurückzuführen ist.

Die Melkdauer war für 64,4 % der ausgewerteten Melkungen, verglichen mit den Referenzwerten von MEIN und HAMANN (1995), als zu hoch einzustufen. Die Autoren empfehlen eine Gesamtmelkdauer von maximal 5 Minuten für die ersten 10 kg Milch und jeweils einer weiteren Minute für jede zusätzlichen 5 kg Milch. REID (2010, mündliche Mitteilung) vertritt sogar die Meinung, dass die ersten 11,4 kg Milch in nur 4 Minuten zu ermelken sind. REID und JOHNSON (2003) gehen davon aus, dass sich die Kondition der Zitzenhaut und der Zitzenkuppe durch eine Reduzierung der Melkdauer verbessert. REINEMANN et al. (2008) zeigten in ihrer Arbeit, dass die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Hyperkeratosen bei einer Melkdauer von unter 4,3 Minuten verglichen mit der Melkdauer von über 5,3 Minuten, sinkt. In dieser Studie überstieg die Dauer von 63,4 % der Melkungen den Wert von 5,3 Minuten, nur 18,5 % der Melkungen unterschritten den Wert von 4,3 Minuten. Nach MEIN et al. (2003) ist die Melkzeughafzeit zur Verminderung des Auftretens von Hyperkeratosen zu reduzieren. Das gilt vor allem bei Milchflüssen von unter 1 kg/min und einem mittleren Sammelstückvakuum von über 42 bis 45 kPa.

Aufgrund der geringen Zitzenlängen und des hohen Anteils ödematöser Zitzen kann geschlussfolgert werden, dass in den modernen hochleistenden Milchviehherden mit Tieren der Rasse Deutsche Holstein, die in diese Studie einbezogen wurden, nur eine unzureichende Massage des Zitzengewebes zum Abbau von Flüssigkeitsanschoppungen erfolgt. Derzeit ist daher davon auszugehen, dass eine Verbesserung der Zitzenkondition durch die Anpassung des Zitzengummis an die populationsspezifischen Zitzenmaße zur Erzielung einer ausreichenden Massagewirkung sowie die Reduzierung der tierindividuellen Melkdauer durch Erhöhung der Abnahmeschwelle erreicht werden kann. Hierzu sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Literatur

- Davis, M. A.; Reinemann, D. J. (2001): Methodology of measuring strip yield. Proceedings of 2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality, Vancouver, Canada 2001, 387–391
- Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V. (DVG) (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Gießen
- Grunert, E. (1990): Weiblicher Geschlechtsapparat. In: Dirksen, G.; Gründer, H. D.; Stöber, M. (Hrsg.): Die klinische Untersuchung des Rindes. Berlin, Hamburg, Parey Verlag, 472–548
- Hamann, J.; Mein, G. A. (1996): Teat thickness changes may provide biological test for effective pulsation. *J. Dairy Res.*, 179–189
- Krömker, V. (2007): Euterkrankheiten. In: Krömker, V. (Hrsg.): Kurzes Lehrbuch der Milchkunde und Milchhygiene. Stuttgart, Parey Verlag, 48–74
- International Dairy Federation (IDF) (1987): Bulletin of the IDF 211 – Bovine mastitis – definitions and guidelines for diagnosis. Hamburg, Behr's Verlag
- Mein, G. A.; Hamann, J. (1995): Dynamic tests for teatcup action and for the cluster. Proceedings of 3rd International Mastitis Seminar, Tel Aviv, Israel 1995, 24–29

- Mein, G. A.; Neijenhuis, F.; Morgan, W. F.; Reinemann, D. J.; Hillerton, J. E.; Baines, J. R.; Ohnstad, I.; Rasmussen, M. D.; Timms, L.; Britt, J. S.; Farnsworth, R.; Cook, N.; Hemling, T. (2001): Evaluation of bovine teat condition in commercial dairy herds: 1. Non-infectious factors. Proceedings of 2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality, Vancouver, Canada, 347–366
- Mein, G. A.; Reinemann, D.; O'Callaghan, E.; Ohnstad, I. (2003): Where the rubber meets the teat and what happens to milking characteristics. IDF World Dairy Summit and Centenary. Bruges, Belgium
- Neijenhuis, F.; André, G.; Hogeveen, H.; Noordhuizen, J. P. T. M. (2004): Quantification of the incidence of clinical mastitis with different teat-end callosity. In: Neijenhuis F. Teat condition in dairy cows. Utrecht, The Netherlands, Dissertation 2004, 91–105
- Reid, D. A.; Johnson A. P. (2003): Trouble shooting herds with poor teat condition. Proceedings of National Mastitis Council Annual Meeting, Fort Worth, Texas, USA, 124–127
- Reinemann, D. J.; Bade, R.; Zucali, M.; Spanu, C.; Ruegg, P. L. (2008): Understanding the influence of machine milking on teat defense mechanisms. In: TJGM Lam (Hrsg.). Mastitis control. From science to practice. Proceedings of International Conference on Mastitis Control, The Hague, The Netherlands 2008, 323–331
- Sordillo, L. M.; Shafer-Weaver, K.; DeRosa, D. (1997): Immunobiology of the mammary gland. *J. Dairy Sci.*, 1851–1865
- Zecconi, A.; Bronzo, V.; Piccinini, R.; Moroni, P.; Ruffo, G. (1996): Field study on the relationship between teat thickness changes and intramammary infections. *J. Dairy Res.*, 361–368

Danksagung

Diese Studie wurde mit EFRE-Mitteln finanziert. Ein besonderer Dank gilt den beteiligten Betrieben für die Unterstützung der Studie.

Variability of milking frequency and intervals between milkings in automatic milking systems

Variabilität der Melkfrequenz und Zwischenmelkzeit beim Melken mit Automatischen Melksystemen

ARMINS LAURS, JURIS PRIEKULIS

Latvia University of Agriculture, J. Cakstes bulv. 5, 3001, Jelgava, Latvia
Agraruniversität Lettland, J. Cakstes bulv. 5, 3001, Jelgava, Lettland

Keywords: automatic milking system (AMS), milking frequency, interval between milking
Schlüsselwörter: automatisches Melksystem (AMS), Melkfrequenz, Zwischenmelkzeit

Summary

The aim of the research – to state how the voluntary milking principle implements milking cows with automatic milking systems (AMS). The research was performed on a farm where one group of cows is milked by two company “DeLaval” milking robots VMS and for driving the cows to the robots the selective system “feed first” is applied. In the research group there were 76 cows with the average yearly milk yield 7000 kg. The research results show that milking the cows with the AMS the programmed milking frequency does not completely come into effect. It decreases. The intervals between milking vary on a large scale and these variations have irregular character.

Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchung war es, zu klären, wie das Prinzip des freiwilligen Melkens der Kühe mit einem Automatischen Melksystem (AMS) in der Praxis realisiert wird. Die Untersuchungen wurden in einem Betrieb durchgeführt, in dem eine Kuhgruppe mit zwei Automatischen Melksystemen VMS der Firma „DeLaval“ gemolken wird. Das System ist mit einer Vorselektion und dem Umtriebssystem „Feed first“ ausgestattet. Die Versuchsgruppe bestand aus 76 Kühen mit einer Milchleistung von 7000 kg pro Kuh und Jahr. Die Forschungsergebnisse zeigten, dass beim Melken mit AMS die vorher programmierte Melkfrequenz nicht realisiert wurde, sondern geringer ausfiel. Die Zwischenmelkzeiten variierten über einen weiten Bereich und waren unregelmäßig verteilt.

1 Introduction

Applying the AMS the procedure of milking cows cardinally differs from milking with traditional milking equipment. The AMS are completely automated milking equipment that can be visited by cows at any time during 24 hours. The milking process itself takes place without direct participation of people. In order to stimulate the cows to enter the AMS they are fed concentrated feed in the robot. Besides, an opinion exists that with milk being accumulated in the udder the cows have a desire to be milked; therefore they themselves go to the AMS. The milking frequency advisable for every cow is programmed individually depending on the lactation phase and daily milk yield. If the lactation phase and daily milk yield changes, the milking frequency adjustment is also changed. The desirable milking frequency is adjusted setting the minimal admissible interval between milking, i. e., the cows can enter the AMS during this time but they are not milked. To milk the cows that considerably hesitate to visit the AMS they should be from time to time driven by people.

With the introduction of the AMS into practice several questions arise:

- If applying the voluntary AMS visiting principle the adjusted milking frequency is implemented?
- What is the milking frequency dynamics?

These questions have been partly considered in the research of KONING and OUWELJTS (2000); BOHLSSEN and ARTMANN (2000) and ARTMANN (2005), nevertheless, we have not found any detailed research results.

Following the above mentioned the research aim was set – how milking cows in the AMS the voluntary AMS visiting principle implements in practice.

According to the research aim two research tasks were set:

- to state how applying the AMS the milking frequency deviates from the set values and what the character of these deviations is;
- to state how applying the AMS the intervals between milking change and what the character of these changes is.

2 Materials and methods

The research was performed on the research and training farm “Vecauce” of the Latvia University of Agriculture with 350 cows. On this farm 250 cows are milked with the “parallel” type milking equipment, but one group of cows – with two company “DeLaval” milking robots VMS. There for driving of cows to the robots the selectively guided cow traffic feed first system is applied. An opinion exists that such system of driving cows to the AMS is one of the most efficient (HERMANS et al., 2003).

The milking procedure is supervised by the cattle-farm worker on duty. The duties of the cattle-farm worker include encouraging of the “lazy” cows to go to milking if their between milking interval according to the reading of the computer management system considerably exceeds the milk permission starting time. Though, driving of cows is not his basic job. At first he should carry out the duties of the cattle-farm worker on duty as

well as every day four hours in the morning and in the evening serve another milking equipment. The cows are not driven also during the night time.

All the necessary data for the research are taken from the robot management system. The data were summarized about a period of seven days. The researched group of animals included 76 cows and the average milk yield of the herd was 7000 kg/year.

3 Results

The research was performed in two series. At first the milking frequency, after – the milking frequency variations.

The results of the first series research are summarized in Table 1 and in Figures 1 and 2.

The distribution of cows according to the actual milking frequency for the groups of cows with the adjustment 2 x, 3 x and 4 x daily milking is shown in Table 1.

Tab.1: Distribution of cows according to the actual milking frequency

Tab.1: Verteilung der Kühe entsprechend der tatsächlichen Melkfrequenz

		Group with milking adjustment 2 x per day	Group with milking adjustment 3 x per day	Group with milking adjustment 4 x per day
Number of cows in the group		7	7	62
Average milking frequency per cow per day		1.8 ± 0.11	2.55 ± 0.15	2.77 ± 0.05
Distribution of cows, % ± δ, according to the actual milking frequency	1 x	8.2 ± 4.3	0.0	0.9 ± 0.0
	2 x	91.8 ± 12.1	44.9 ± 15.3	39.6 ± 5.0
	3 x	0.0	55.1 ± 10.6	41.5 ± 7.4
	4 x	0.0	0.0	18.0 ± 3.6

The research results show that milking in robots does not go according to the plan, that is, the cows are not milked so many times a day as it has been adjusted. As it can be seen in Table 1 the cows that were planned to be milked four times a day have been milked only 2.77 times, but the cows with the adjustment 3x daily milking – 2.55 times. The situation is better in the group of two times adjustment where the cows were milked in the average 1.80 times. If the adjustment is 4 x daily milking, actually in 0.9 % of cases the cows have been milked only once per day, 39.6 % of cows – twice a day, 41.5 % of cows – three times a day and only 18 % of cows four times a day.

Figure 1 shows the actual average milking frequency per cow per day for the groups of cows with different milking frequency adjustment.

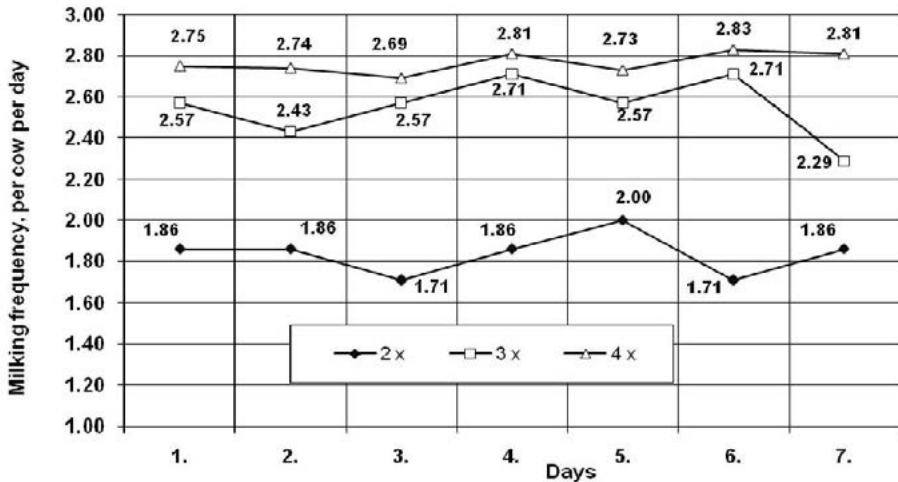


Fig.1: The actual milking frequency for the cow groups with the adjustment 2 x, 3 x and 4 x daily milking

Abb.1: Tatsächliche Melkfrequenz der Kuhgruppen bei den Einstellungen 2 x, 3 x und 4 x melken pro Tag

Figure 2 shows the distribution of the cows according to the actual milking frequency for the group with the adjustment 4 x daily milking.

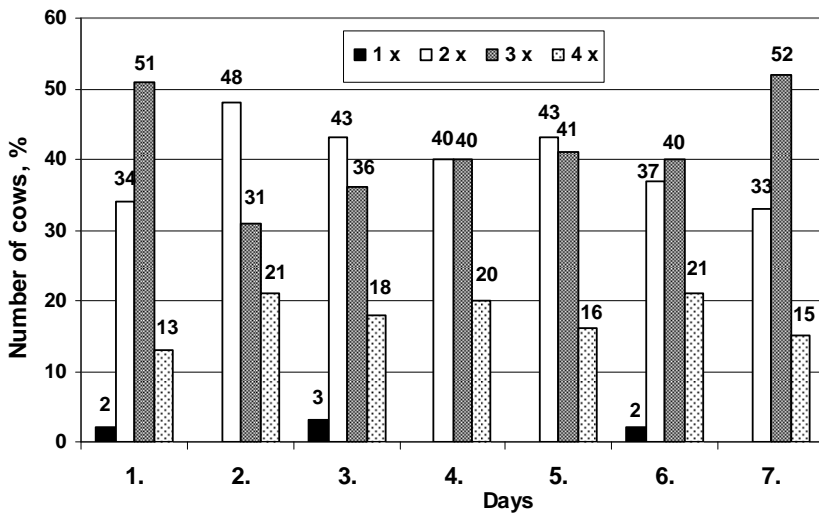


Fig. 2: Distribution of the cows according to the actual milking frequency for the group with the adjustment 4 x daily milking

Abb. 2: Verteilung der Kühe entsprechend der tatsächlichen Melkfrequenz für eine Kuhgruppe bei der Einstellung 4 x melken je Kuh und Tag

Figure 1 shows that the average milking frequency variations are small. It proves the stability of the technological process during the period of the experiment in total but does not characterise the stability of the process within every adjustment group. It can be seen in Figure 2 that in the largest group of cows (62 animals) with the adjustment 4 × daily most of the cows are milked 3 × (31–52 %) and 2 × daily (33–48 %), but only a small part 4 × (8 %).

Nevertheless, more than the number of milking per day, the intervals between milking characterize the quality of the milking process. The research results on the variability of the between milking intervals are summarized in Table 2 and shown in Figure 3.

Table 2 shows the distribution of the number of milking on every experimental day every hour after starting the milking permission adjustment. So, for instance, if the milking permission after the last milking is adjusted for 6 hours, then in the interval 0–1 the cows with the between milking interval 6–7 hours will be included, but if the permission is given after 8 hours – the cows with the between milking interval 8–9 hours. This distribution characterizes the variability of the between milking intervals in the experimental group of cows.

Tab. 2: Distribution of the number of milking every hour after starting the milking permission
 Tab. 2: Verteilung der Melkzeiten in den Stunden nach Beginn der Melkbereitschaft

Time after starting the milking permission, h	Number of milkings							Average in 7 days
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7	
0–1	77	73	75	85	79	92	88	81,3
1–2	42	39	27	37	50	43	37	39,3
2–3	20	19	28	27	15	18	23	21,4
3–4	23	15	12	25	22	11	13	17,3
4–5	26	37	26	21	23	28	35	28,0
5–6	17	22	31	22	25	25	18	22,9
6–7	13	10	13	13	10	13	16	12,6
7–8	4	10	7	6	5	3	4	5,6
8–9	3	1	2	3	4	5	2	2,9
9–10	3		1	2				0,9
10–11					1	1		0,3
11–12					1			0,1
>12			3		1		1	0,7
Total								233,0

Figure 3 shows the distribution of the average milking times every hour after starting the milking permission during the whole time of the experiment.

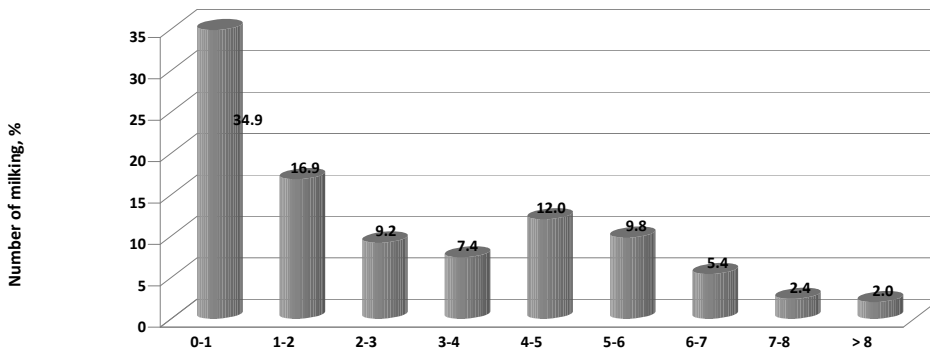


Fig. 3: Distribution of the average milking times every hour after starting the milking permission during the period of the experiment

Abb. 3: Verteilung der durchschnittlichen Zahl der Melkungen je Stunde nach Beginn der Melkbereitschaft im Laufe des Experiments

As it can be seen in Table 2 and Figure 3 milking with the AMS the between milking intervals change in a wide range, still in the average in 52 % cases they fall within the borders “milking restriction time + 2 h”, but in 80 % cases – “milking restriction time + 5 h”. In separate cases they are even larger but not often.

Figure 3 attracts attention to the peak of increase of the milking times in the intervals 4–5 h and 5–6 h. It can be explained by the participation of the cow driver in the technological process only in separate periods of the day.

4 Discussion

Previous research has showed that milking highly productive cows with traditional milking equipment three times a day the milk yield increases by 10–15 % compared to milking twice a day, but transferring to milking four times a day – even up to 22 % (POOLE, 1982; HOGVEEN et al., 2000; ÖSTERMAN and BERTILSSON, 2003; SORENSEN et al., 2008 u. c.). Unfortunately, applying the traditional milking technologies it is problematic to milk cows three or four times a day as it would make the situation, caused by the continuous rise in the price of the labour force and dissatisfaction of the milkers with hard working conditions and inconvenient working time, even worse. These problems were tried to be solved with the introduction of the AMS.

If applying the AMS the decrease of the labour force is obvious, the issue of the increase of the productivity is not unambiguous. According to the calculations done tracing the farms after introduction of the AMS, the increase in the milk yield there can be less than 2 % (WADE et al., 2004), or maximum 7 or 8 % (SVENNERSTEN-SJAUNJA et al., 2000; SPERONI et al., 2006).

May be the results of our research can give the answer to this question.

It has been proved by many investigations that milk secretion and accumulation of milk in the udder are related processes. For continuous ensuring of milk secretion regular emptying of the udder is necessary as reaching a definite stage of milk accumulation in the udder the intensity of milk secretion considerably decreases. It is considered in practice determining the milking daily routine. As it was mentioned above in the article, in order to completely use the productivity potential of highly productive cows they have to be milked three and four times per day, but with the condition that the intervals between milking are equal.

From the results of our first series research it can be concluded that milking cows with the AMS does not implement according to the plan, i. e., the cows are not milked so many times per day as it has been adjusted. The nonconformity is larger if the adjusted frequency is higher.

Table 1 shows that in the group of cows with the adjustment 3 × daily only 55,1 % of cows have been milked 3 × daily, but with the adjustment 4 × daily only 18 % of cows have been milked four times.

Still, not the number of milking per day is the most essential factor, but between milking intervals. The second series research results show that the adjusted, i. e., the desired between milking intervals can be exceeded even up to 8 hours if separate cases are not considered where the milking intervals are still longer. Besides, in our research there are traces (not published) that for every individual cow the between milking intervals change from one milking time to another.

It means that the milking process milking with the AMS with the milking adjustment 3 × or 4 × daily does not correspond to the milking process what it is milking as many times per day with the traditional milking equipment. It can be a reason why the increase in productivity milking with the AMS is not as expected.

References

- Artmann, R. (2005): Ergebnisse aus langjährigem Praxiseinsatz von Melkrobotern. In: 7. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. KTBL, Darmstadt, 145–150
- Bohlsen, E.; Artmann, R. (2000): Einsatzuntersuchungen bei Mehrboxanlagen. In: Automatische Melksysteme. Schön, H. (Hrsg.), KTBL, Darmstadt, 101–107
- Hogeveen, H.; Miltenburg, J. D.; Hollander den, S.; Frankena, K. A. (2000): Longitudinal Study on the Influence of Milking Three Times a Day on Udder Health and Milk Production. In: Robotic Milking. The International Symposium, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 297–298
- Koning de, K.; Ouweltjs, W. (2000): Maximising the Milking Capacity of an Automatic Milking System. In: Robotic Milking. The International Symposium, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 38–46
- Österman, S.; Bertilsson, J. (2003): Extended calving interval in combination with milking two or three times per day: effects on milk production and milk composition. *Livestock Production Science*, 82, 139–149

- Poole, D. A. (1982): The Effects of Milking cows three Times Daily. *Animal Production*, 2, 197–121
- Sorensen, A; Muir, D. D.; Knight, C. H. (2008): Extended lactation in dairy cows: effects of milking frequency, calving season and nutrition on lactation persistency and milk quality. *Journal of Dairy Research*, 75, 90–97
- Speroni, M.; Pirlo, G.; Lolli, S. (2006): Effects of automatic milking systems on milk yield in a hot environment. *Journal of Dairy Science*, 89, 4687–4693
- Svennersten-Sjaunja, K.; Berglund, I.; Pettersson, G. (2000): The milking process in an automated system; evaluation of milk yield, teat condition and udder health. In: *Robotic Milking. The International Symposium*, Academic Publishers: Wageningen, 277–287
- Wade, KM.; van Asseldonk, M. A. P. M.; Berentsen, P. B. M.; Ouweltjes, W.; Hogeveen, H. (2004): Economic efficiency of automatic milking systems with specific emphasis on increases in milk production. In: *Automatic milking, a better understanding. The International Symposium*, Vol. 1, Academic Publishers, Wageningen, 62–67

Feeding Milk Cows with Concentrated Feed using Milking Robots and Feeding Stations

Kraftfutterfütterung an Milchkühe in Melkrobotern und Futterstationen

JURIS PRIEKULIS, JĀNIS LATVIETIS, ARMĪNS LAURS

Latvia University of Agriculture, J. Čakstes 5, Jelgava, 3001, Latvija
Agraruniversität Lettland, Lielā iela 2, Jelgava, 3001, Latvija

Keywords: cows, robotized technology, milk yield, concentrated feed limit
Schlüsselwörter: Kühe, Roboter-Technologie, Milcherträge, Kraftfutterlimit

Summary

Feeding of milk cows with concentrated feed, if the cows are milked by robots and concentrated feed is fed at the feeding table, in the milking stand and feeding stations, is investigated. The research was performed in two stages. In the first stage the cows received feed mixture with 10 % of concentrated feed, but the rest amount of the concentrated feed they were fed in the feeding stations and during milking. In the second stage mixture was prepared without concentrated feed.

It has been stated that after excluding concentrated feed from the basic feed mixture the consumption of feed has increased slightly in the milking stand but considerably in the feeding stations. Besides, the total consumption of concentrated feed for cows with lower productivity has remained on the previous level but for higher productivity cows (with the milk yield above 30 kg per day) it has reduced by approximately 10%.

Zusammenfassung

Untersucht wurde die Kraftfutterfütterung an Milchkühe, die im Melkroboter gemolken werden und an die Kraftfutter am Futtertisch, im Melksystem und in der Kraftfutterstation verfüttert wird. Im ersten Teil der Untersuchung erhielten die Kühe Mischfutter mit einem Kraftfutteranteil von 10 %, die übrige Menge an Kraftfutter wurde im Melksystem beim Melken und an der Futterstation verfüttert. Im zweiten Teil wurde Mischfutter ohne Kraftfutterzusatz zubereitet.

Es wurde bestätigt, dass bei der Verfütterung der Mischfütteration ohne Kraftfutterzusatz der Kraftfutterverzehr im Melksystem etwas gestiegen ist und bemerkbar mehr – an der Futterstation. Dabei blieb der gesamte Kraftfutterverzehr bei Kühen mit niedriger Leistung auf dem Niveau wie zuvor, aber bei Kühen mit höherer Produktivität (Milchertrag über 30 kg Milch pro Tag) wurde er um etwa 10 Prozent reduziert.

1 Introduction

Using robotised milking stands and automated feed distribution it is possible to essentially decrease the number of people working in the barn, to improve the feeding of animals and ensure obtaining of high quality milk.

Nevertheless, introduction of the new technology faces different problems. For instance, in feeding it is difficult to ensure the nutrients in compliance with the normative requirements (LATVIETIS et al., 2008). It is especially expressed in conditions when the cows have free access to the basic feed mixture and receive concentrated feed from the distribution devices or feeding stations. Then there is a possibility that the less productive animals get more nutrients and energy than they need resulting in fatness and metabolic disturbances. Therefore, the farms are forced to reject these animals as defective too soon. If, in turn, there are unnecessary limits for feed, then the potentially more productive animals do not receive the amount of nutrients and energy in compliance with their genetic productivity. In the result the amount of milk reduces and the farm can have losses.

Therefore, it is important that the composition of the basic feed that is fed to the cows in the conditions of loose handling and robotized milking would be appropriate for animals of all productivity levels and the distribution of concentrated feed should be correctly limited in accordance with the milk yield of every cow.

Hence, the aim of our research was to state whether there is a necessity and at what amount concentrated feed should be included in the feed mixture for milk cows if it is additionally fed in the milking robot stand and concentrated feed feeding stations.

2 Materials and Methods

The research was carried out on the cow farm "Ligotnes" of the research and training farm "Vecauce" of the Latvia University of Agriculture where the animals are handled loose in boxes and the cow herd management system is used.

For the research about 100 groups of cows were used that were milked by two robots produced by the company "DeLaval". In this group cows with the average live weight 600 kg and milk yield 6500 kg were included. The basic feed (feed mixture) was fed at the feeding table but concentrated feed in the milking stands and feeding stations.

The research was performed in two stages. Every stage was two months long followed by one month interval. In the first stage the cows received basic feed mixture with inclusion of 10 % concentrated feed (according to the feed mass) at the feeding table but the rest amount of concentrated feed they were fed in the milking robot stand and at the feeding stations.

In the second stage of the research feed mixture was prepared without concentrated feed and it was fed only in the milking stands and feeding stations.

All cows depending on the daily milk yield were divided in four groups: less than 10 kg, from 10 to 20 kg, from 20 to 30 kg and more than 30 kg per day. During the research the average milk yield of every cow and the amount of the consumed concentrated feed was stated using the data accumulated in the management system.

3 Results

It has been stated in the research that there were wide differences in the individual consumption of concentrated feed for the cows of all four productivity groups, i.e., considerable deviations from the average group indices. So, for instance, the amount of concentrated feed received at the milking stand for separate animals varied from 0.1 to 3.5 kg, but at the feeding stations – from 0.1 to 8.0 kg. Besides, it can be prognosticated that the range of these individual variations could be larger if there would not be limits for distribution of concentrated feed: at the milking stand 3.5 kg and at the feeding stations 8.0 kg.

According to our calculations the relative standard error of the data obtained in the research was in the range of 3.0–4.5 % what corresponds to the assessment “completely satisfactory” (ARHIPOVA and BALINA, 2003). Therefore, in the average numbers of consumption of concentrated feed there are correlations that can be scientifically evaluated.

It has been stated in the research that with the increase of the cow productivity the consumption of concentrated feed increases in all concentrated feed distribution devices. If in the milking stand these differences are not so big, at the feeding stations the amount of the distributed concentrated feed is exactly proportional to the level of milk yield. It can be seen in Table 1.

Tab.1: Amount of concentrated feed consumed by cows depending on the kind of feeding

Tab. 1: Die von den Kühen verzehrten Kraftfuttermengen in Abhängigkeit von der Fütterungsvariante

Research stage	Milk yield group	Consumed concentrated feed, kg per day			
		with feed mixture	at milking robot stand	at concentrated feed feeding stations	total
Stage 1	< 10 kg	2.8	0.2	0.1	3.1
Concentrated feed included in feed mixture 10 %	10–20 kg	3.0	1.8	1.0	5.8
	20–30 kg	3.2	2.0	2.9	8.1
	> 30 kg	3.4	2.2	5.5	11.1
Stage 2	< 10 kg	-	2.0	1.1	3.1
Concentrated feed excluded from feed mixture	10–20 kg	-	2.4	3.4	5.8
	20–30 kg	-	2.9	4.9	7.8
	> 30 kg	-	3.1	7.2	10.3

If, for instance, the cows with the milk yield 10 to 20 kg per day in the first stage of the research have received in the average 5.8 kg concentrated feed per day, then the cows with the milk yield higher than 30 kg–11.1 kg per day, i.e., about two times more. Similar changes in the consumed amount of concentrated feed depending on the milk yield have been stated also in the research of the second stage. But in this case the total amount of the consumed concentrated feed has decreased in the group of more productive cows. It can be explained by worsened feed mixture taste properties as it does not include concentrated feed any more.

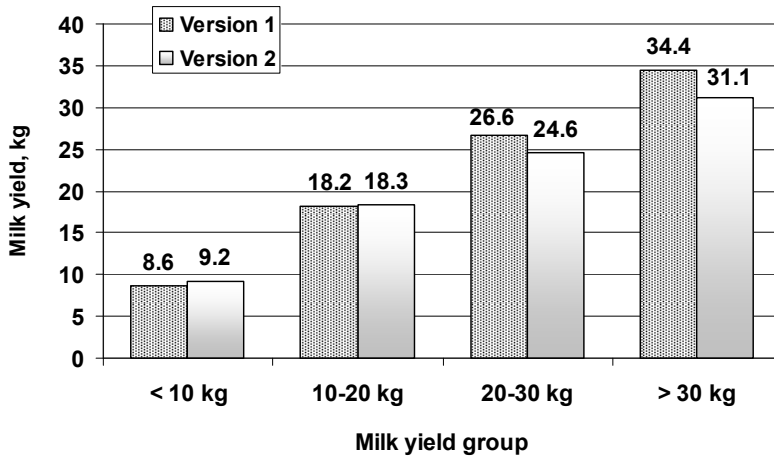


Fig. 1: Average milk yield for separate groups of cows depending on feeding version

Abb. 1: Durchschnittliche Milchleistung der einzelnen Kuhgruppen in Abhängigkeit von der Fütterungsvariante

The changes of the average milk yield depending on the productivity group of cows and feeding version can be seen in Figure 1.

The research shows that exclusion of concentrated feed from the feeding mixture has not practically influenced the milk yield of less productive cows, but increase in the milk yield about 10 % has been observed in the groups of higher productivity cows.

In order to check the correctness of concentrated feed limits the amount of consumed concentrated feed calculating per milk yield of every group of cows was calculated (Fig. 2).

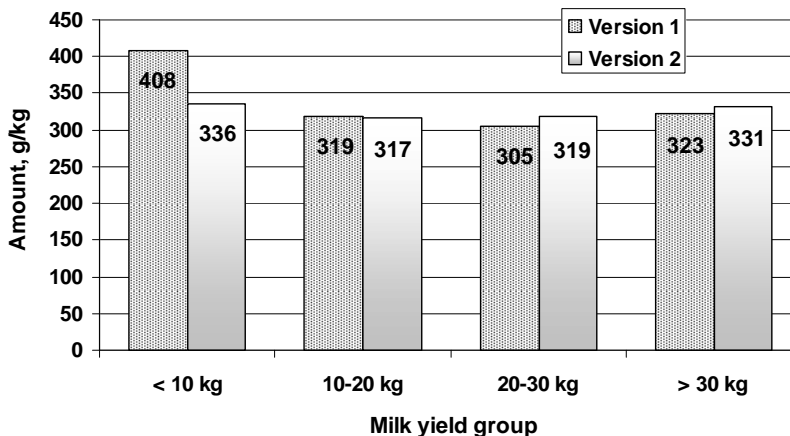


Fig. 2: Amount of concentrated feed consumed by cows, g/kg of milk, depending on the milk yield group and feeding version

Abb. 2: Die von Kühen verzehrten Kraftfuttermengen, g/kg Milchertrag in Abhängigkeit von dem Gruppen-Milchertrag und von der Fütterungsvariante

In accordance to the data in literature (BRADE E. and BRADE W., 2008; NYDEGGER and BOLLI, 2009), for the cows with the milk yield 20 kg per day it would be enough to have 300 g of concentrated feed calculating per kg of milk. For the cows with higher productivity the need is larger, but also then, not to cause indigestion and metabolic disturbances, the consumption of concentrated feed should not exceed 400 g per kg of milk or 50–55 % of the feed dry matter, or 60–65 % of the energetic value of the feed ration. In turn, the data in Figure 2 show that the feed rations used on the farm for lower productivity cows have too high concentrated feed concentration, but for the cows with the milk yield 20–30 kg and more the amount of concentrated feed can be insufficient.

This condition can be improved if the amount of concentrated feed is reduced in the feed mixture or it is excluded from this mixture at the same time re-adjusting the concentrated feed distribution limits at the feeding stations and milking stands. Nevertheless, as our research shows, complete refusal of inclusion of concentrated feed in the feed mixture reduces the amount of the consumed feed and the milk yield of high productivity cows.

Another version is possible (WINNICKI et al., 2010), when all cows receive feed mixture with a small proportion of concentrated feed (about 4 % or 2 kg calculating per cow), but the cows with the milk yield above 20 kg get additionally mixed concentrated feed calculating 2 kg per 5 kg of milk yield that exceeds 20 kg (400 g per kg of milk). But in this case there is a possibility that less productive cows will lose the acquired reflex to visit the milking stand and the feeding stations. Therefore, it can be prognosticated that it would be more rational to include about 5 % of concentrated feed (of mixture mass) or 2 kg calculating per cow in the feed mixture but in the milking stand and at the feeding stations the amounts of concentrated feed would be limited according to the productivity level of the cows. Though, this hypothesis has still to be tested in our further research.

4 Summary

Exclusion of concentrated feed from the basic feed mixture has increased its consumption at the feeding stations and milking stands. Therefore, for the cows of lower productivity level the total consumption of concentrated feed and milk yields have not changed essentially. But for the cows with higher productivity the milk yield of which exceeds 30 kg per day the total amount of the consumed concentrated feed has reduced by about 10 % and also the milk yield has increased accordingly. Therefore the concentrated feed limits have to be corrected regularly limiting them for the cows with the milk yield up to 20 kg, but for the cows with the milk yield more than 30 kg per day they are allowable in maximal amounts (10 kg per day and more).

Complete exclusion of concentrated feed from the basic feed mixture is not rational as it worsens the taste properties of the mixture and its consumption.

Literature

- Arhipova, I.; Bāliņa, S. (2003): Statistics in Economics. Riga, Computer Science Center. (In Latvian)
- Brade, E.; Brade, W. (2008): Wieviel Korn braucht die Milch? Neue Landwirtschaft, Nr.5, 58–59
- Nydegger, F.; Bolli, S. (2009): Strukturproblematik bei Mischrationen für Hochleistungsherden. Ergebnisse einer Erhebung auf Milchviehbetrieben. In: ART-Berichte, Tänikon, Nr. 719, 8
- Latvietis, J.; Priekulis, J.; Eihvalde, I. (2008): Problems of cow feeding in robotic milking and loose handling conditions. Proceedings of the 7th International Scientific Conference Engineering for Rural development. Jelgava, Latvia, 270–274
- Winnicki, S.; Glowicka-Woloszyn, R.; Kolodziejczyk, T.; Romaniuk, W.; Kantarowski, R. (2010): Comparison of TMR and PMR feeding Systems. Proceedings of the 9th International Scientific Conference Engineering for Rural development. Jelgava, Latvia, 89–92

Entwicklung und Bewertung von Verfahren zur Reinigung von Abluft aus Geflügelhaltungen

Development and assessment of poultry exhaust air treatment processes

JOCHEN HAHNE

Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (von Thünen-Institut), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Deutschland

Schlüsselwörter: Abluftreinigung, Geflügel, Ammoniak, Partikel, Abscheidung
 Keywords: exhaust air treatment, poultry, ammonia, particle, separation

Zusammenfassung

In den Jahren 2009 und 2010 wurde eine mehrstufige Versuchsanlage zur Reinigung von Abluft aus einem Hühnerstall getestet. Die Versuchsanlage bestand aus einem trocken arbeitenden Staubfilter sowie zwei nachgeschalteten Waschstufen. Die Staubabscheidung arbeitete störungsfrei, aber die Berieselungsleitungen mussten einmal im Quartal und die Füllkörper einmal im Jahr gereinigt werden. Der Druckverlust des Staubfilters und der beiden Waschwände betrug maximal 120 Pa bei einer Filterflächenbelastung von ca. 2800 m³/(m² h). Bei diesen Betriebsbedingungen lagen die Partikel-Abscheidegrade bei 69,7–86,7 (PM_{2,0-2,5}) und 99,7–99,8 % (PM_{8,5-10}). Langfristige N-Bilanzierungen ergaben für Ammoniak Abscheidegrade von 72 und 78 %. Für eine sichere Ammoniakabscheidung von mindestens 70 % war eine Mindestverweilzeit von 0,45 s in der Füllkörperschüttung bei einem pH-Wert < 5 erforderlich. Der Frischwasserverbrauch lag bei 4,1 l/1000 m³ Luft, der Abwasseranfall bei 215 l/kg NH₃-N im Mittel und der Säureverbrauch zwischen 3,1 und 3,4 kg/kg NH₃-N.

Summary

A multistage test facility for poultry exhaust air treatment was operated at a chicken stable in 2009 and 2010. The test facility consisted of a dry working dust filter and two subsequent scrubber units. The dust removal unit operated failure-free. But the irrigation pipes have to be cleaned quarterly and the filling bodies once a year. The pressure drop of the dust removal unit and the two washing units did not exceed 120 Pa at a filter load about 2800 m³/(m² h). Under these practical conditions the particle reduction was 69.7–86.7 (PM_{2.0-2.5}) and 99.7–99.8 (PM_{8.5-10}). Long-term nitrogen balances showed an ammonia separation of 72 and 78 %. For a safe ammonia reduction of at least 70 % a minimum retention time of 0.45 s in the packing material as well as a pH value of < 5 in the washing liquid were required. The fresh water consumption was 4.1 l/1000 m³ and the waste water amounted to 215 l/kg NH₃-N.

1 Problemstellung und Ziel

Der Anteil der Geflügelhaltung an den nationalen Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung wird für 2010 auf 15 % geschätzt. Der entsprechende Anteil für PM₁₀ und PM_{2,5} wird mit 29 % bzw. 18 % angegeben [1]. Die Abluftreinigung bietet Möglichkeiten zur Emissionsminderung und verschafft der Landwirtschaft weitere Entwicklungsoptionen. Ziel der Arbeiten ist daher die Entwicklung und Bewertung von wirksamen und praxistauglichen Abluftreinigungsverfahren für die Geflügelhaltung.

2 Material und Methoden

Die Reinigung der Stallabluft erfolgte mit einer Versuchsanlage, die im Wesentlichen aus einer trocken betriebenen Entstaubungseinrichtung und zwei nachgeschalteten Füllkörperwänden (Schüttung mit Hiflow-Ringen 25-7) mit Schichtdicken von je 150 mm (Abb. 1) bestand.

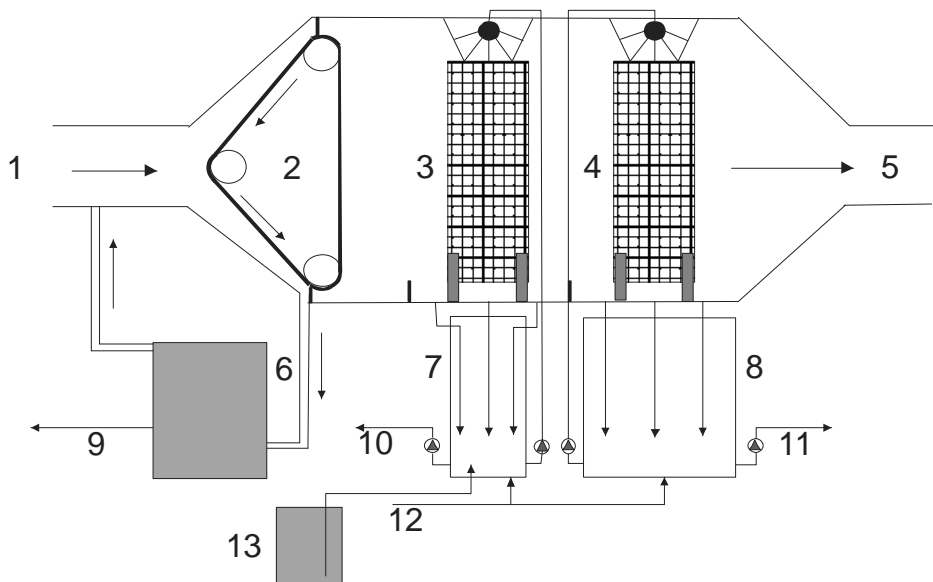


Abb. 1: Aufbau der Versuchsanlage zur Reinigung von Stallabluft aus Geflügelställen (1: Rohgas; 2: Filtervlies; 3: Waschwand 1; 4: Waschwand 2; 5: Reingas; 6: Vliesabsaugung; 7: Speichertank 1; 8: Speichertank 2; 9: Staubentnahme; 10: Abschlammung Waschstufe 1; 11: Abschlammung Waschstufe 2; 12: Frischwassereinspeisung; 13: Schwefelsäurevorlage)

Fig. 1: Construction of the test facility for the poultry exhaust air treatment (1: raw gas; 2: filter pad; 3: scrubber wall 1; 4: scrubber wall 2; 5: clean gas; 6: filter pad exhaustion; 7: reservoir 1; 8: reservoir 2; 9: dust removal; 10: elutriation reservoir 1; 11: elutriation reservoir 2; 12: fresh water supply; 13: sulphuric acid supply)

Die Berieselungsdichte betrug jeweils 3–4 m³/(m² h). Im Jahr 2009 wurde die Anlage mit zwei getrennten Waschstufen betrieben (1. Stufe: pH-Wert <5; 2. Stufe: Wasser). 2010 wurde diese Trennung aufgehoben, die pH-Regelung auf <5 aber aufrechterhalten. Die Abschlammung erfolgte gesteuert über die Leitfähigkeit bei 20 mS/cm. Die Versuche wurden an einem Hühnerstall mit Elterntierhaltung durchgeführt. Die Fütterung erfolgte mit Legehennenfutter ad libitum. Wasser stand über Nippeltränken zur Verfügung. Die Entmistung erfolgte 1 x wöchentlich über Kotbänder.

Die Abluft des Hühnerstalls wurde unmittelbar am Abluftventilator des Stalles und ohne weitere Vorbehandlung als Rohgas für die Versuchsanlage angesaugt. Alle relevanten Spurengase (NH₃, H₂S, CH₄, CO₂, N₂O, NO_x) sowie die Gesamtstaubkonzentration wurden quasi-online erfasst. Die Rohgastemperatur (2010) lag im Jahresmittel bei 21,3 °C und die Rohgasfeuchte bei 55,1 %. Mit Werten zwischen 0,3 und 30 ppm wiesen die NH₃-Konzentrationen (2 h-Mittelwerte) im Rohgas erhebliche Schwankungen auf. Gleiches galt auch für die CO₂-Konzentrationen, die sich zwischen 351 und 2507 ppm bewegten. Zur Bestimmung des Partikelabscheidegrades kamen zwei baugleiche Aerosolspektrometer (Fa. Grimm) zum Einsatz. Ammoniak, Methan und Kohlenstoffdioxid wurden mit einem FT-IR-Spektrometer (Fa. Ansyco), Stickoxide mit einem Chemolumineszenz-Detektor (Fa. Ansyco) und Schwefelwasserstoff mit einem UV-Spektrometer (Fa. ABB) gemessen. Zur Bestimmung des Volumenstromes wurde ein Durchflussmessgerät der Fa. Sick eingesetzt. Zur Analyse des Waschwassers wurde Ammonium destillativ nach DIN 38406 Teil 5 und Nitrit sowie Nitrat über die HPLC bei 210 nm bestimmt. Die durchschnittliche Filterflächenbelastung lag bei 2430 (2009) bzw. 2780 m³/(m² h) (2010).

3 Ergebnisse

Die Versuchsanlage wurde (von Service-Perioden abgesehen) seit März 2009 kontinuierlich ohne nennenswerte Ausfallzeiten betrieben. Der Druckverlust des Staubfilters bewegte sich bei einer durchschnittlichen Filterflächenbelastung von 2780 m³/(m² h) je nach Staubbiladung des Vlieses zwischen 40 und 80 Pa. Beide Waschstufen liefen – bedingt durch die Vorentstaubung – weitgehend störungsfrei und verursachten zusätzliche Druckverluste von je 10–15 Pa. Lediglich die Berieselungsleitungen mussten alle drei Monate und die Füllkörper einmal im Jahr gereinigt werden.

Das beschriebene Verfahren erzielte bei 51 Messungen in 2009 und 47 Messungen im Jahr 2010 sehr gute Partikelabscheidungen (Abb. 2). Im Rohgas wurden mit knapp 30 % die höchsten relativen Massenanteile in den Partikelfractionen zwischen 4 und 6,5 µm nachgewiesen. Im Reingas lag der entsprechende Wert bei 0,28 %. Partikel der Größenklasse „2,0–2,5 µm“ wurden bei einer mittleren Filterflächenbelastung (FFB) von 2800 m³/(m² h) mit mittleren Wirkungsgraden von 69,7 % (2009) bzw. 86,7 % (2010) abgetrennt. Der Einfluss der FFB im Bereich zwischen 1800 und 3660 m³/(m² h) war nur schwach ausgeprägt, wobei die besten Resultate bei 2800 m³/(m² h) erzielt wurden. Partikel mit einem Durchmesser über 7,5 µm wurden praktisch quantitativ abgeschieden.

Die Ammoniakkonzentrationen zeigten im Rohgas den typischen sägezahnartigen Verlauf, der im Wesentlichen durch die Lüftungssteuerung (Tag-Nacht-Rhythmus) und

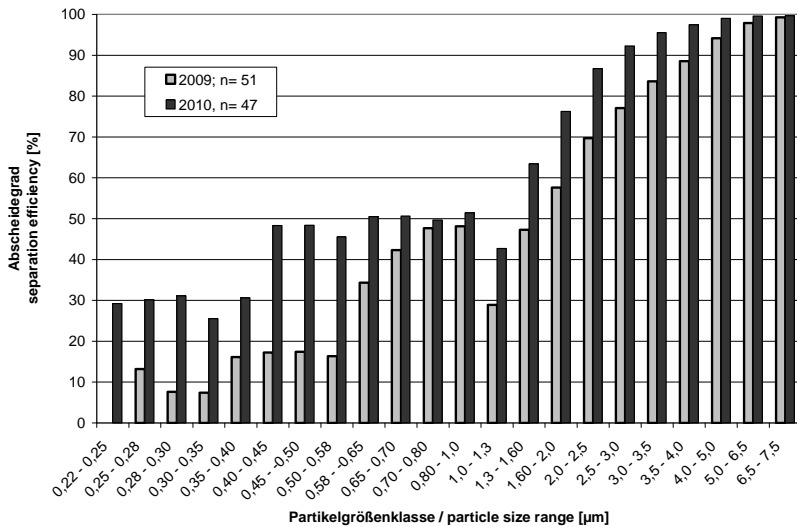


Abb. 2: Partikelabscheidung durch die mehrstufige Versuchsanlage bei einer Filterflächenbelastung von $2800 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$

Fig. 2: Particle reduction by the multistage test facility with a filter load of $2800 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$

die Entmüstungsintervalle verursacht wurde (Abb. 3). Der mittlere pH-Wert des Waschwassers in der Stufe 1 lag bei 4,6 und in der Waschstufe 2 bei 7,0.

Bedingt durch den Lüftungsverlauf schwankten die NH_3 -Konzentrationen im Rohgas zwischen 1,1 und 30 ppm (2 h-Mittelwerte), nach der Waschstufe 1 zwischen 0,4 und 26,5 und nach der Waschstufe 2 zwischen 0,1 und 8,2 ppm. Der mittlere Abscheidegrad der Waschstufe 1 betrug bei einer FFB von ca. $1915 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ 41 %, die Gesamtabsecheidung 80,5 %. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass eine 150 mm starke Waschwand für eine 70 %ige NH_3 -Abscheidung nicht ausreichend ist, selbst bei einer vergleichsweise geringen FFB nicht. Bei den Versuchen im Jahr 2010 wurde die Trennung der Waschstufen aufgehoben, sodass der pH-Wert in beiden Waschstufen < 5 lag. Darüber hinaus wurde die FFB auf $2780 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ angehoben. Bei Rohgaskonzentrationen von 0,3–29,7 ppm (2 h-Mittelwerte) wurden nach der Waschstufe 1 Werte zwischen 0,2 und 24,2 und nach der Waschstufe 2 Konzentrationen zwischen 0 und 12,1 ppm gemessen (Abb. 4). Der mittlere Abscheidegrad betrug im dargestellten Zeitraum 37,1 % für die Waschstufe 1 und 73,3 % für das Gesamtsystem. Somit wurde bei Erhöhung der FFB von 1915 auf $2780 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ (+ 45 %) der Gesamtwirkungsgrad nur geringfügig von 80,5 auf 73,3 % reduziert.

Die N-Bilanzierung für den Betrieb im Jahr 2009 (getrennte Säure- und Wasserstufe) hatte eine NH_3 -N-Abscheidung von 71,9 % ergeben. Demgegenüber ergab die N-Bilanzierung für März bis Dezember 2010 eine verbesserte NH_3 -N-Abscheidung von 77,6 %. Es wurde weder eine Bildung von Stickoxiden noch von Lachgas festgestellt. Die Wiederfindungsrate ($\text{WFR} = (\text{N}_{\text{in}}/\text{N}_{\text{out}}) * 100$) betrug 97,8 %.

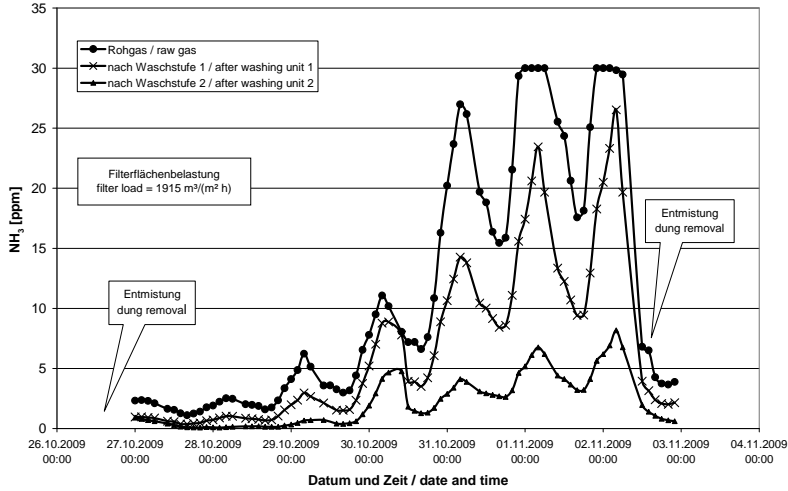


Abb. 3: Verlauf und Minderung der NH_3 -Konzentrationen im Versuchsbetrieb
 Fig. 3: Run and reduction of NH_3 concentrations during test operation

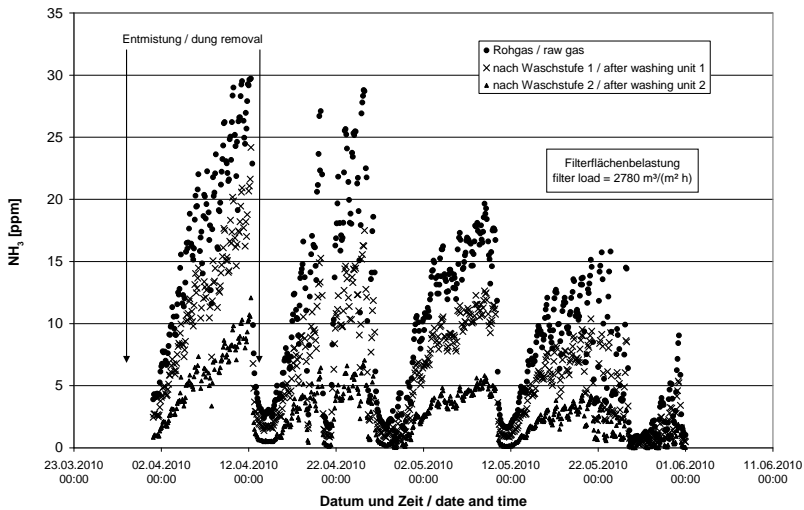


Abb. 4: Verlauf und Reduzierung der NH_3 -Konzentrationen im Versuchsbetrieb
 Fig. 4: Run and reduction of NH_3 concentrations during test operation

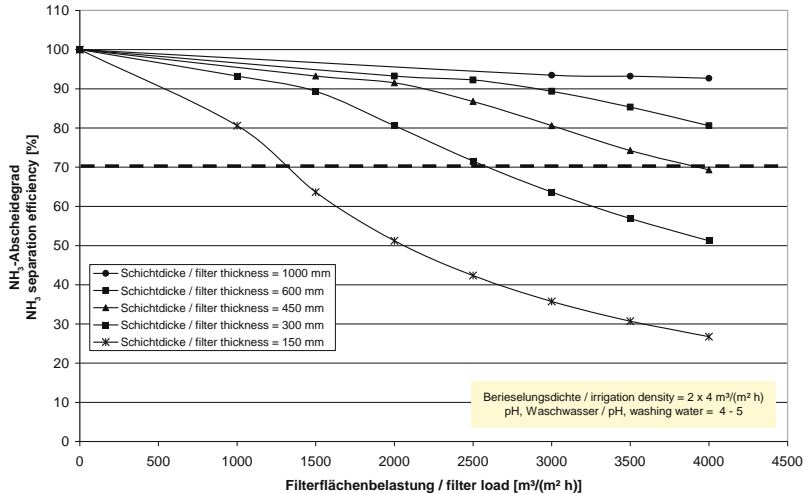


Abb. 5: Berechnete NH₃-Abscheidegrade in Abhängigkeit der Filterflächenbelastung
 Fig. 5: Calculated NH₃ separation efficiencies against filter loads

Ausgehend von den 2009 und 2010 durchgeführten Versuchen wurde die Abhängigkeit der NH₃-Abscheidung von der FFB berechnet (Abb. 5). Bei einer 150 mm starken Filterwand aus Hiflow-Ringen würde ein 70-%iger NH₃-Abscheidegrad bereits ab FFB von mehr als 1300 m³/(m² h) unterschritten. Wurde eine Wandstärke von 300 mm zugrunde gelegt, dürfte die FFB 2570 m³/(m² h) nicht überschreiten. Die Berechnungen zeigen, dass die Mindestverweilzeit in der Füllkörperschüttung für eine 70-%ige Abscheidung etwa 0,45 s betragen sollte.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die wichtigsten Ergebnisse und Verfahrenskenndaten (Tab. 1) zeigen, dass mit dem beschriebenen Verfahren eine sehr weitgehende und sichere Partikelabscheidung gewährleistet werden kann. Für eine noch bessere Ammoniakabscheidung müsste nach jetzigem Kenntnisstand die Verweilzeit erhöht bzw. die Filterflächenbelastung reduziert werden.

Der Abwasseranfall könnte durch Anhebung der Leitfähigkeit in der Waschstufe als Abschlämmkriterium weiter reduziert werden. Dies gilt allerdings nur bei Betrieb als Chemostufe (pH < 5). Bei biologisch arbeitenden Systemen hat sich ein Grenzwert von ca. 20 mS/cm bewährt.

Mit dem Verfahren kann keine nennenswerte Geruchsminderung erzielt werden. Hierfür wird nach jetzigem Kenntnisstand eine weitere Verfahrensstufe erforderlich sein. Entsprechende Arbeiten werden noch 2011 begonnen.

Tab. 1: Wichtige Kenndaten des mehrstufigen Verfahrens zur Reinigung von Abluft aus Geflügelhaltungen

Tab. 1: Important parameters of the multistage poultry exhaust air treatment process

Parameter	2009	2010
Filterflächenbelastung / filter load [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$]	2429	2780
NH_3 -Abscheidung / NH_3 separation efficiency [%]	72	78
Partikelabscheidung / particle separation 2,0–2,5 μm [%]	69,7	86,7
Partikelabscheidung / particle separation 8,5–10 μm [%]	99,7	99,8
Frischwasserverbrauch / fresh water consumption [$\text{L}/1000 \text{ m}^3$]	4,1	4,1
Abwasseranfall / waste water production [$\text{L}/\text{kg NH}_3\text{-N}$]	216	214
Säureverbrauch / acid consumption [$\text{kg}/\text{kg NH}_3\text{-N}$]	3,1	3,4

Literatur

- [1] Dämmgen, U.; Haenel, H. D., Rösemann, C.; Eurich-Menden, B.; Grimm, E.; Döhler, H.; Hahne, J.: Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung. UFO-Plan-Vorhaben 206 43 200/01, Teilbericht Landwirtschaftliche Emissionen

Ammoniakemissionen aus Milchviehlaufställen mit Laufhof: Messungen mit einer neuen Tracer-Ratio-Methode auf sechs Praxisbetrieben

Ammonia emissions from loose housing with outdoor exercise area for dairy cattle: measurements on six commercial farms using a tracer ratio method

SABINE SCHRADER¹, MARGRET KECK¹, KERSTIN ZEYER², LUKAS EMMENEGGER²

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, 8356 Ettenhausen, Schweiz

² Empa, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Schweiz

Schlüsselwörter: Ammoniak, Emissionen, Milchkühe, Freie Lüftung, Laufhof, Tracergas

Keywords: ammonia, emissions, dairy cattle, natural ventilation, outdoor exercise area, tracer gas

Zusammenfassung

Literaturdaten für die Emission von Ammoniak (NH₃) bei Milchvieh sind für die in der Schweiz verbreiteten Laufstallsysteme mit Laufhof nicht aussagekräftig. Deshalb erfolgten zur Bestimmung der NH₃-Emissionen für die Haltung von Milchvieh in freigelüfteten Liegeboxenlaufställen mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof Messungen auf sechs Praxisbetrieben. Messungen in je zwei von drei Jahreszeiten (Sommer, Übergangszeit, Winter) pro Betrieb deckten die klimatische Variation im Jahresverlauf ab. Um die Emissionen von zwei Bereichen mit unterschiedlicher Quellstärke abzubilden, wurde eine Tracer-Ratio-Methode mit zwei Tracergasen (SF₆, SF₅CF₃) entwickelt. Mit diesem systematischen Messansatz konnten betriebliche sowie jahreszeitliche Effekte auf die NH₃-Emission aufgezeigt werden. Als relevante Einflussgrößen auf die NH₃-Emission resultierten die Außentemperatur, die Windgeschwindigkeit im Stall und der Harnstoffgehalt der Tankmilch.

Summary

Data from the literature on ammonia emissions (NH₃) from dairy cattle are not meaningful for the loose housing systems with outdoor exercise areas which are common in Switzerland. To determine NH₃ emissions for dairy cattle kept in naturally ventilated cubicle housing systems with solid floor surfaces and an outdoor exercise area measurements were taken on six commercial farms. Studies in two out of three seasons (summer, transition period, winter) on each farm covered the variation in climate over the course of the year. A tracer ratio method with two tracer gases (SF₆, SF₅CF₃) was developed to account for emissions from two areas of different source intensity. With this systematic approach it was possible to show farm and seasonal effects on NH₃ emissions. The outside temperature, the wind speed in the housing and the tank milk urea level turned out to be relevant influencing variables on NH₃ emission.

1 Problemstellung und Ziel

Die Emissionen von mit Modellen berechnetem NH_3 der Schweiz im Jahr 2007 stammten zu etwa 94 % aus der Landwirtschaft. Davon kamen rund 34 % aus der Stallhaltung von Nutztieren. Rindvieh macht mit 79 % den größten Teil der NH_3 -Emissionen aus (ACHERMANN et al. 2009). Während 1990 in der Schweiz noch 97 % der Milchkühe in Anbindeställen und nur 3 % in Laufställen gehalten wurden, wird für das Jahr 2010 ein Verhältnis von Anbindestall zu Laufstall von 60 zu 40 % angenommen (BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2003). Verbesserungen bei der Tiergerechtigkeit steht eine wesentliche Erhöhung der verschmutzten Flächen gegenüber, was zu höheren NH_3 -Emissionen führt.

Aktuelle Emissionsdaten für NH_3 aus der Milchviehhaltung sind nötig zur vergleichenden Bewertung von Haltungssystemen, als Beitrag für Emissionsinventare sowie als Referenz für Minderungsmaßnahmen.

Ziel dieser Untersuchung war es, die NH_3 -Emissionen für die in der Schweiz häufige Situation der Milchviehhaltung im Laufstall mit Laufhof zu bestimmen.

2 Literatur Ammoniak-Emissionen

Literaturdaten zu NH_3 -Emissionen bei Milchvieh sind für die in der Schweiz weit verbreiteten freigelüfteten Laufstallssysteme mit Laufhof nicht aussagekräftig. Bisher wurden Messungen überwiegend in zwangsgelüfteten oder weitgehend geschlossenen Ställen ohne Laufhof durchgeführt. Vorhandene Emissionsdaten decken die Jahreszeiten nicht systematisch ab. Die fehlenden Emissionsdaten bei freier Lüftung und von Flächenquellen sind im Wesentlichen auf Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Luftwechselrate zurückzuführen.

In Abbildung 1 sind NH_3 -Emissionen aus dem Anbindestall, Tretmist-/Tiefstreulaufstall sowie Liegeboxenlaufstall für Milchvieh von unterschiedlichen Autoren dargestellt. Bei diesen Laufställen handelt es sich ausschließlich um Ställe ohne Laufhof. Außerdem wurde in dieser Darstellung nicht zwischen planbefestigten und perforierten Laufflächen, Hoch- und Tiefboxen sowie verschiedenen Fassadenausführungen differenziert. Häufig handelt es sich um Messungen auf einem Einzelbetrieb. Bei den Emissionswerten aus dem Liegeboxenlaufstall ist die Streuung erheblich: Sie reicht im Mittel von 6 g NH_3 pro Großvieheinheit (GV) und Tag (d) (PHILLIPS et al. 1998) bis 62 g/GV·d (SWIERSTRA et al. 2001). Teilweise ist der Schwankungsbereich innerhalb der einzelnen Untersuchungen sehr groß. Beim Tretmist-/Tiefstreulaufstall sowie beim Anbindestall liegen nur sehr wenige Messungen vor. Die Ergebnisse der Mittelwerte im Tretmist-/Tiefstreulaufstall streuen von 13 g/GV·d (GROOT KOERKAMP et al. 1998) bis 110 g/GV·d (SEIPELT 1999). Die NH_3 -Emissionen aus dem Anbindestall variieren im Mittel zwischen 5 g/GV·d (AMON et al. 1998) und 28 g/GV·d (GROOT KOERKAMP und UENK 1997). Das Emissionsniveau im Anbindestall liegt verglichen mit dem des Liegeboxenlaufstalls deutlich niedriger.

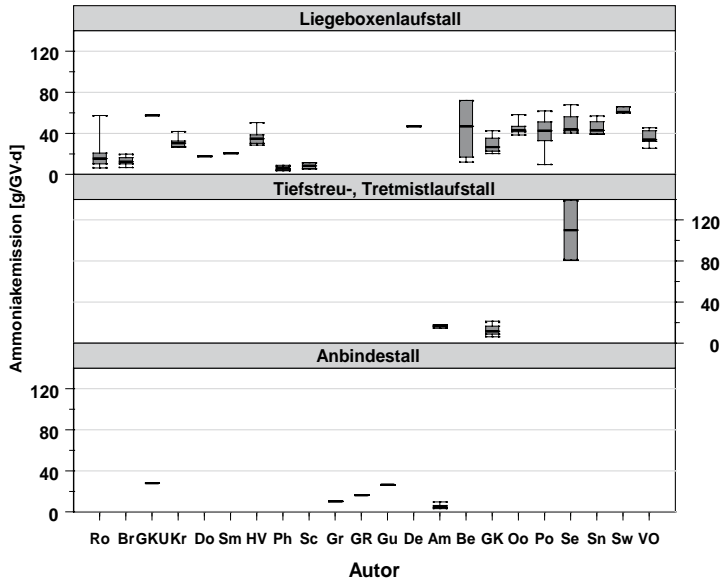


Abb. 1: Literaturübersicht zur NH_3 -Emission [g/GV-d] aus dem Anbindestall, Tiefstreu- und Tretmiststall sowie Liegeboxenlaufstall für Milchvieh dargestellt als Boxplots nach Autoren. (Am AMON et al. (1998); Be BREHME (2000); Br BROSE (2000); De DEMMERS et al. (1998); Do DORE et al. (2004); GK GROOT KOERKAMP et al. (1998); GKU GROOT KOERKAMP und UENK (1997); Gr GROENESTEIN (1993); Gu GUSTAFSSON et al. (2001); HV HUIS IN'T VELD et al. (2003); Kr KROODSMA et al. (1993); Oo OOSTHOEK et al. (1990); Ph PHILLIPS et al. (1998); Po POLLET et al. (1998); Ro ROM et al. (2004); Sc SCHMIDT et al. (2002); Se SEIPELT (1999); Sm SMITS et al. (1997); Sw SWIERSTRA et al. (2001); VO VAN'T OOSTER et al. (1994))

Fig 1: Literature survey NH_3 emission [g/LU-d] from tied housings, deep-litter housings and loose housings with cubicles depicted as box plots by authors.

3 Material und Methoden

3.1 Messkonzept und Methoden

Die Messungen erfolgten in zwölf Messperioden auf sechs Praxisbetrieben mit freigelüfteten Liegeboxenlaufställen mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof. Messungen in je zwei von drei Jahreszeiten (Sommer, Übergangszeit, Winter) pro Betrieb deckten die klimatische Variation im Jahresverlauf ab. Die Messdauer pro Jahreszeit betrug jeweils mindestens drei Tage.

Zur Bestimmung der Emissionen bei freier Lüftung und von Flächenquellen haben ART und Empa eine Tracer-Ratio-Methode mit zwei Tracergasen weiterentwickelt. Um die Emissionen von den beiden Flächenquellen Stallbereich und Laufhof abzubilden, wurde neben dem bereits etablierten Tracergas Schwefelhexafluorid (SF_6) Trifluormethylschwefelpentafluorid (SF_5CF_3) als zweites Tracergas eingesetzt. Die verdünnten Tracergase wurden über ein Rohrsystem mit kritischen Kapillaren direkt an den emittierenden Laufflächen kontinuierlich zudosiert (Abb. 2) und bildeten so die Quelle der NH_3 -Emission ab. Ein Luftsammlersystem in 3 m Höhe, bestehend aus Teflonschlauch

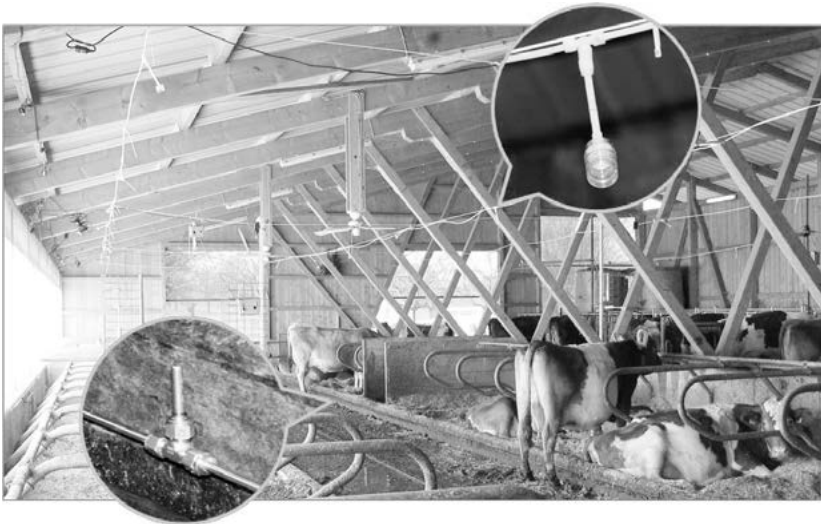


Abb. 2: Kontinuierliche Zudosierung der Tracergase über ein Rohrsystem mit kritischen Kapillaren aus Stahl direkt an den emittierenden Laufflächen und Luft sammelproben bestehend aus einem Teflonschlauch mit kritischen Kapillaren aus Glas

Fig. 2: Continuously dosing of the tracer gases directly to the emitting floor surfaces via a tube system with steel critical capillaries and composite air sampling consisting of a Teflon hose and glass critical capillaries

und kritischen Kapillaren aus Glas im Abstand von 3 m, ermöglichte eine repräsentative Probenahme der Tracergase und von NH_3 . Die Analyse der beiden Tracergase erfolgte simultan mittels Gaschromatographie (GC-ECD). NH_3 wurde mit einem photoakustischen Verfahren (PAS) quantifiziert (SCHRADE 2009).

Zur Charakterisierung der jeweiligen Messsituation, zur Plausibilisierung von Messdaten, als Bezugsgrößen und zur Ableitung von wichtigen Einflussgrößen auf die Emissionen wurden neben beschreibenden Betriebsdaten folgende Begleitparameter erfasst: Außenklima, Klima in Stall und Laufhof, Tieraufenthalt, Laufflächenverschmutzung sowie Stickstoffinput, -output und -verwertung (SCHRADE et al. 2011).

3.2 Betriebe

Für die Messungen wurde das in der Schweiz weit verbreitete Haltungssystem für Milchvieh im Laufstall mit Laufhof ausgewählt. Dabei handelte es sich um freigelüftete Eingebäudelaufställe mit Liegeboxen, planbefestigten Laufflächen und längs zum Stallgebäude angeordnetem Laufhof.

Auf drei Betrieben war der Laufhof räumlich vom Stallgebäude getrennt, auf drei Betrieben als kombinierter Liegegang/Laufhof ausgeführt (Abb. 3). Fressgang, Liegegang bzw. Liegegang/Laufhof wurden mit stationären Entmistungsschiebern drei- bis viermal pro Tag, der Laufhof alle drei Tage mobil oder manuell abgeschoben. Die sechs Praxisbetriebe unterschieden sich bezüglich Fütterung, Management, Bewirtschaftungsweise, Herdenleistung, Größe sowie bei baulichen und verfahrenstechnischen Aspekten. Damit

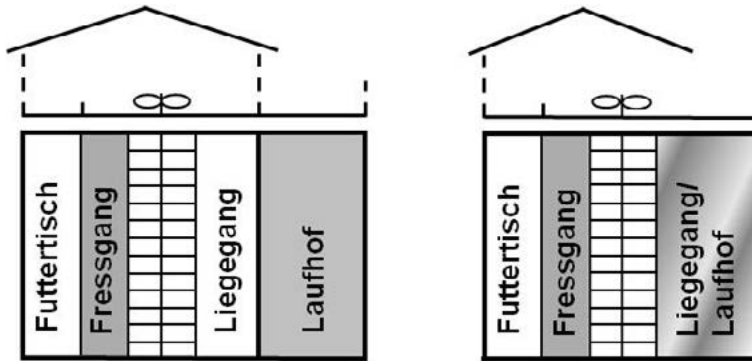


Abb. 3: Schematische Skizzen für die beiden Stallkonzepte: Laufhof getrennt vom Stallgebäude (links); kombinierter Liegegang/Laufhof (rechts)

Fig. 3: Schematic drawings of both housing concepts: Outdoor exercise area separated from stable (left); combined cubicle access aisle/outdoor exercise area (right).

konnte für dieses Haltungssystem die Praxisvielfalt abgedeckt werden. Die Bestandesgrößen variierten zwischen 20 und 74 Tieren.

4 Ergebnisse und Diskussion

Mit dem systematischen Messansatz auf sechs Praxisbetrieben konnten betriebliche und jahreszeitliche Effekte aufgezeigt werden. Die Tracer-Ratio-Methode hat sich im Praxiseinsatz bewährt. Die Vielfalt der erhobenen Begleitparameter ermöglichte, die jeweilige Messsituation detailliert zu beschreiben und einzuordnen sowie Einflussgrößen auf die NH_3 -Emission aufzuzeigen. Im Stickstoff-Niveau unterschieden sich die einzelnen Betriebe und Messperioden zum Teil deutlich. So variierte beispielsweise der mittlere Harnstoffgehalt der Tankmilch zwischen den Betrieben und Messperioden von 13 bis 31 mg pro 100 ml.

Die Tagesmittelwerte der NH_3 -Emissionen variierten im Sommer über alle Messperioden hinweg von 31 bis 67 g/GV·d und lagen damit etwas höher als punktuelle Literaturwerte mit 9 bis 57 g/GV·d (ROM et al. 2004; ZHANG et al. 2005). In der Übergangszeit reichten die NH_3 -Emissionen von 16 bis 44 g/GV·d. Im Winter lagen die Tagesmittelwerte mit 6 bis 23 g/GV·d deutlich tiefer als die von SEIPELT (1999) im Winter gemessene Emission mit 40 g/GV·d. Die mittleren NH_3 -Emissionen der jeweils drei Messtage auf einem Betrieb innerhalb einer Messperiode waren sehr konsistent.

Tagesgänge waren nur in der warmen Jahreszeit erkennbar. Bis zu einer Temperatur von etwa 7 °C veränderte sich das NH_3 -Niveau bei Erhöhung der Temperatur kaum. Dagegen stiegen die NH_3 -Emissionen bei einem höheren Temperaturniveau mit zunehmender Temperatur deutlich an (Abb. 4).

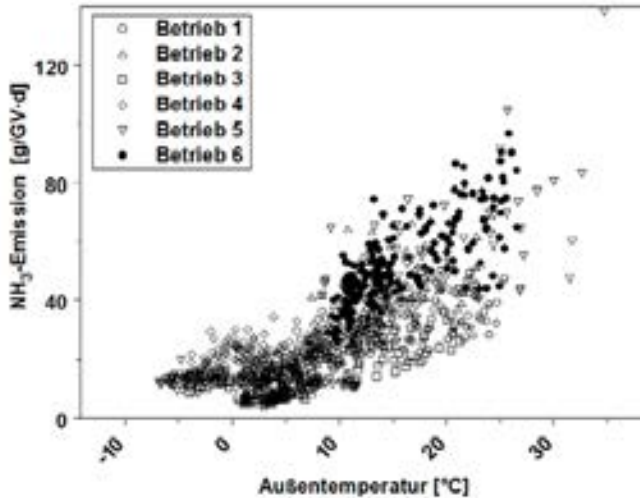


Abb. 4: NH_3 -Emission [g/GV-d] als Funktion der Außentemperatur [°C], dargestellt als einzelne Messzyklen differenziert nach Betrieben

Fig. 4: NH_3 emission [g/LU-d] as a function of the outside temperature [°C], depicted as individual measuring cycles distinguished by farms

Als relevante Einflussgrößen auf die NH_3 -Emission resultierten in einem linearen Gemischte-Effekte-Modell, welches die hierarchische Datenstruktur von Betrieb, Messperiode und Messtag berücksichtigt, die Windgeschwindigkeit im Stall ($F_{1,1053} = 99,49$; $p < 0,001$) sowie eine Interaktion der Außentemperatur ($F_{1,1053} = 100,78$; $p < 0,001$) und des Harnstoffgehalts der Tankmilch ($F_{1,5} = 6,91$; $p = 0,047$). Diese Einflussgrößen geben Hinweise auf die Minderungsansätze bedarfsgerechter und ausgeglichener Fütterung sowie Stallklimaaspekte. Mit Vordach, Sonnenschutz, geeignetem Stallkonzept und Windschutz können Temperatur und Windgeschwindigkeit reduziert werden.

5 Ausblick

Zur Verbesserung der Datengrundlage für NH_3 -Emissionen aus der Stallhaltung von Milchvieh und zur vergleichenden Bewertung von Haltungssystemen sind Emissionsmessungen bei Liegeboxenlaufställen mit perforierten Laufflächen und Mehrgebäudeställen mit integriertem Laufhof nötig.

Als Umweltziel der Landwirtschaft ist eine Reduktion der NH_3 -Emissionen der Schweiz um rund 40 % erforderlich (BUNDESAMT FÜR UMWELT U. BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2008). Zur Minderung der NH_3 -Emissionen aus der Stallhaltung von Rindvieh müssen baulich-technische und organisatorische Minderungsmaßnahmen schrittweise entwickelt, bewertet und deren Minderungspotenzial quantifiziert werden. Diese Maßnahmen setzen beim Stallklima, bei der Verringerung der verschmutzten Lauffläche durch die Wahl des Stallkonzepts sowie bei raschem Harnabfluss und optimierter Entmistung an.

Literatur

- Achermann, B.; Bonjour, C.; Kupper, T.; Leuenberger, C.; Menzi, H.; Nyfeler-Brunner, A.; Rihm, B.; Zaucker, F. (2009): Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990-2007. In: Fachtagung Ammoniak- und Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft: Inventare und Programme zu deren Minderung, 10. September 2009, Zollikofen, Bern, 70 S.
- Amon, B.; Amon, T.; Boxberger, J. (1998): Untersuchung der Ammoniakemission in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reduktionspotenziale und Reduktionsmöglichkeiten. Universität für Bodenkultur, Forschungsprojekt L883/94, Wien, 311 S.
- Brehme, G. (2000): Quantifizierung des Luftvolumenstroms in frei gelüfteten Rinderställen mit Hilfe der Kompartimentalisierungsmethode zur Bestimmung umweltrelevanter Emissionsmassenströme. Dissertation, Göttingen, 136 S.
- Brose, G. (2000): Emission von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Dissertation, Hohenheim, 136 S.
- Bundesamt für Landwirtschaft (2003): Agrarbericht. Bern
- Bundesamt für Umwelt; Bundesamt für Landwirtschaft (2008): Umweltziele Landwirtschaft. Umwelt-Wissen Nr. 0820, Bern, 221 S.
- Demmers, T. G. M.; Burgess, L. R.; Short, J. L.; Phillips, V. R.; Clark, J. A.; Wathes, C. M. (1998): First experiences with methods to measure ammonia emissions from naturally ventilated cattle buildings in the U.K. *Atmospheric Environment* 32, 285-293
- Dore, C. J.; Jones, B. M. R.; Scholtens, R.; Huis in't Veld, J. W. H.; Burgess, L. R.; Phillips, V. R. (2004): Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores - part 2: Comparative demonstrations of three methods on the farm. *Atmospheric Environment* 38, 3017-3024
- Groenestein, C. M. (1993): Animal-waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: field studies. *Livestock Environment IV: Fourth International Symposium University of Warwick Coventry, England*, 1169-1175
- Groot Koerkamp, P. W. G.; Uenk, G. H. (1997): Climatic Conditions and Aerial Pollutants in and Emissions from Commercial Animal Production Systems in the Netherlands. In Voermans J. A. M. and Monteny G. J. (Eds.): *Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities. Proceedings International Symposium in Vinkeloord, Netherlands*, 139-144
- Groot Koerkamp, P. W. G.; Metz, J. H. M.; Uenk, G. H.; Phillips, V. R.; Holden, M. R.; Sneath, R. W.; Short, J. L.; White, R. P.; Hartung, J.; Seedorf, J.; Schröder, M.; Linkert, K. H.; Pedersen, S.; Takai, H.; Johnsen, J. O.; Wathes, C. M. (1998): Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 79-95
- Gustafsson, G.; Hultgren, J.; Jeppsson, K.-H.; (2001): Ammonia emissions from the cowshed, and animal cleanliness, reproductive performance and health – reference measurements. In: *Life Ammonia*, 5 Feb 2001 (www.hmh.sl.u.se/ammoniak/ammoniak)
- Huis in't Veld, J. W. H.; Smits, M. C. J.; Monteny, G. J. (2003): Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien & Kansen-bedrijven. *Koeienkansen rapport*, 17 S.
- Kroodsma, W.; Huis in't Veld, J. W. H.; Scholtens, R. (1993): Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science*, 35, 293-302

- Oosthoek, J.; Kroodsmas, W.; Hoeksma, P. (1990): Ammonia emission from dairy and pig housing systems. In Nielsen, V.C.; Voorburg J. H.; l'Hermite, P. (Eds.): Odour and ammonia emissions from livestock farming. Proceedings of a seminar in Silsoe, United Kingdom 26-28 March 1990, 31-41
- Phillips, V. R.; Bishop, S. J.; Price, J. S.; You, S. (1998): Summer emissions of ammonia from a slurry-based, UK, dairy cow house. *Bioresource Technology* 98, 213-219
- Pollet, I.; Christiaens, J.; Van Langenhove, H. (1998): Determination of the ammonia emission from cubicle houses for dairy cows based on a mass balance. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71, 239-248
- Rom, H. B.; Zhang, G. Q.; Wang C. (2004): Survey of ammonia emission from naturally ventilated housing facilities for cattle. In: European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng). International Conference on Agricultural Engineering, 12-16 Sept 2004, Leuven, Book of Abstracts, 668-669
- Schmidt, D. R.; Jacobson, L. D.; Janni, K. A. (2002): Continuous monitoring of ammonia, hydrogen sulfide and dust emissions from swine, dairy and poultry barns. In: ASAE Annual International Meeting, CIGR XVth World Congress Chicago, Illinois, USA, 28-31 July 2002, 14
- Schrade, S. (2009): Ammoniak- und PM₁₀-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ratio-Methode. Dissertation, Kiel, 131 S.
- Schrade, S.; Keck, M.; Hartung, E. (2011): Begleitparameter bei Emissionsmessungen für Ammoniak aus Milchviehställen. *Landtechnik* 66, 2, 128-131
- Seipelt, F. (1999): Quantifizierung und Bewertung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First-Lüftung. Dissertation, Göttingen, 188 S.
- Smits, M. C. J.; Valk, H.; Monteny, G. J.; Van Vuuren, A. M. (1997): Effect of protein nutrition on ammonia emission from cow houses. In Jarvis, S. C.; Pain, B. F. (Eds.): Gaseous nitrogen emissions from grassland, 101-107
- Swierstra, D.; Braam, C. R.; Smits, M. C. (2001): Grooved floor system for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. *Applied Engineering in Agriculture* 17, 1, 85-90
- Van't Ooster, A.; Scholtens, R.; Van der Heiden-de Vos, J. J. C. (1994): Emissie uit de rundveestal/Ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde stallen is nu mogelijk. *Landbouwmechanisatie* 7, 12-14
- Zhang, G.; Strøm, J. S.; Li, B.; Rom, H. B.; Morsing, S.; Dahl, P.; Wang, C. (2005): Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle Buildings. *Biosystems Engineering* 92, 3, 355-364

MRSA in der Luft und Abluft von Schweinehaltungen

MRSA in air and exhaust air of pig farms

UWE ROESLER¹, ANIKA FRIESE¹, JOCHEN SCHULZ², JOERG HARTUNG²

¹ Freie Universität Berlin, Institut für Tier- und Umwelthygiene, Philippstraße 13, 10115 Berlin

² Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie, Bünteweg 17p, 30559 Hannover

Schlüsselwörter: MRSA, Emissionen, Schweine, Sockentupfer, Impingement, Filtration

Keywords: MRSA, emissions, pigs, boot swaps, impingement, filtration

Zusammenfassung

MRSA (Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus) wird inzwischen insbesondere in Schweinehaltungen verbreitet gefunden. In der vorliegenden Studie wurden Schweinehaltungen verschiedener Größe und Struktur sowie deren Umgebung auf das Vorhandensein luftgetragener MRSA, deren Emissionsquellen im Bestand und eine etwaige Deposition in der Stallumgebung mittels Tier-, Umwelt- und Luftproben untersucht. Dabei konnten MRSA in hohem Maße in der Stallluft und im Stallstaub gefunden werden. In der Stallabluft gelang der Nachweis von MRSA mittels Impingement nur selten. Jedoch konnte in der Mehrzahl der parallel in der Stallumgebung (50 m und 300 m, Leeseitig) genommenen Sockentupferproben MRSA nachgewiesen werden. Luv-seitig gelang dies hingegen nur sehr selten.

Die vorliegenden Ergebnisse deuten auf die große Rolle luftgetragener MRSA bei der Verbreitung dieser Erreger innerhalb von Schweinebeständen hin. Darüber hinaus belegen sie auch den Austrag von MRSA mittels der Stallabluft und deren Deposition in der Stallumgebung, worin ein möglicher Übertragungsweg in benachbarte Nutztierbestände aber auch zum Menschen gesehen werden kann.

Summary

The occurrence of MRSA in pig house air as well as in samples from pigs and their housing environment of 27 pig barns of different sizes and management schemes have been extensively studied. MRSA could regularly be found in air as well as in other environmental samples like dust, boot socks or faeces. Also the animals themselves showed a high rate of MRSA contamination.

Moreover, LA-MRSA emissions and depositions in the vicinity of MRSA positive pig holdings were investigated. Airborne MRSA was detected only sporadically on the downwind side of three barns in low concentrations. However, the majority of soil surface samples (boot swaps) downwind from the barns and some soil surface samples upwind from the barns were MRSA positive. At all farms MRSA was detected even at 300 m distance downwind to the sampled animal houses. The uncontrolled entry of airborne LA-MRSA into the vicinity of positive pig holdings may contribute to the transmission of these bacteria between different herds but maybe also to transmission to other livestock or man.

1 Einleitung

MRSA (Methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus*) wurde in der Vergangenheit vor allem im Zusammenhang mit nosokomialen Infektionen des Menschen diskutiert. Neben diesen „hospital aquired“ MRSA treten im ländlichen Raum zunehmend auch die sogenannten „animal aquired“ MRSA auf, die epidemiologisch nicht identisch mit denen aus den Krankenhäusern sind. Besonders in Schweinhaltungen wird dieser Keim inzwischen verbreitet gefunden.

In einem durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Verbundprojekt werden von 2009 bis Ende 2011 bundesweit Untersuchungen zum Vorkommen von MRSA in Nutztierhaltungen durchgeführt. Hier werden die bisherigen Ergebnisse eines Teilprojektes zur Verbreitung von MRSA in der Stall- sowie Abluft in Schweinehaltungen vorgestellt.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchte Bestände

Eine repräsentative Menge an MRSA-positiven Schweinebeständen ($n = 27$) unterschiedlicher Betriebsgröße und -struktur wurde einmalig und zusätzlich ausgewählte Ställe ($n = 6$) über einen Zeitraum von einem Jahr im Rahmen der Longitudinalstudie untersucht.

2.2 Probennahme

Verschiedene Umweltproben wie Stallluftproben, Sockentupfer, Sammelstaubproben, Sammelkot- sowie Futterproben wurden genommen. Zusätzlich wurden in jedem Stall 60 Tiere mittels Tupferproben von Nasenvorhof und Haut untersucht.

Als Luftkeimsammelverfahren wurden das Impingement (AGI-30) und die Filtration (Polycarbonatfilter) vergleichend eingesetzt.

In den Beständen der Longitudinalstudie wurden zusätzlich in verschiedenen Entfernungen vom Stallgebäude Proben der Stallabluft sowie Sockentupferproben der Stallumgebung untersucht.

2.3 Labordiagnostische Methoden

Die Auswertung erfolgte, je nach Probenart, sowohl qualitativ als auch quantitativ. Ein Teil der Tiertupfer wurden einzeln, alle anderen als Probenpools analysiert. Die Keimidentifizierung erfolgte nach Standardverfahren mittels Selektivnähragar (CHROMagar) in Kombination mit einer Multiplex Real-Time-PCR.

3 Ergebnisse

81,7 % der einzeln untersuchten Nasentupfer ($n = 325$) waren MRSA-positiv mit einem mittleren Keimgehalt von ca. $2,1 \times 10^2$ /Tupfer. In den gepoolten Nasentupferproben ($n = 325$) waren 88,3 % MRSA-positiv. Bezüglich der Hauttupfer wurden bei der Analyse von

Einzelproben (n = 325) im Mittel 78,8 % und bei der der Poolproben (n = 325) 87,7 % aller Proben positiv auf MRSA getestet.

In 63 % der Impingerproben (n = 81) und 42,5 % der Filterproben (n = 80) wurde MRSA gefunden, wobei in 85,2 % aller untersuchten Bestände mindestens eine der sechs Luftproben MRSA positiv war.

In den Sammelstaubproben (n = 27), welche zu 85,2 % MRSA-positiv waren, wurde ein durchschnittlicher Keimgehalt von ca. $2,1 \times 10^4$ Kbe/g festgestellt. 74,1 % aller Sockentupfer vom Stallgang (n = 27) wurde MRSA detektiert. In den Futterproben (n = 17) konnten bei 29,4 %, in den Kotproben (n = 27) bei 55,6 % aller Proben MRSA gefunden werden.

In der Stallabluft konnten in drei der untersuchten Ställe MRSA mittels Impingement nachgewiesen werden. In der Stallumgebung hingegen waren zu fast jedem Untersuchungszeitpunkt bei allen untersuchten Ställen bis zu 300 Meter vom Stallgebäude entfernt MRSA mittels Sockentupfer-Analyse nachweisbar.

4 Diskussion

Die bisher vorliegenden Ergebnisse deuten auf eine hohe Kontaminationsrate mit MRSA in Schweinehaltungen hin. Hierbei spielen luftgetragene MRSA sowohl bei der Ausbreitung im Bestand als auch beim Austrag aus den Tierhaltungen eine entscheidende Rolle. Die sehr hohen Detektionsraten in der Stallumgebung deuten auf einen starken Austrag von MRSA und aufgrund der hohen Tenazität auch auf eine hohe Deposition schweineassoziiertes MRSA hin.

Literatur

- European Food Safety Authority (2009): Analysis of the baseline survey on the prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in holdings with breeding pigs, in the EU, 2008. *EFSA Journal* 2009 7 (11), 1376, 1–82
- Schulz, J.; Friese, A.; Meemken, D.; Roesler, U.; Blaha, T.; Hartung, J. (2010): Efficiency of different sampling locations and methods to detect MRSA on pigs and in their housing environment. *Proceedings of the 21st IPVS Congress, Vancouver, Canada – July 18–21, 2010*, 123
- Kock, R.; Harlizius J.; Bressan, N.; Laerberg, R.; Wieler, L. H.; Witte, W.; Deurenberg, R. H.; Voss, A.; Becker, K.; Friedrich, A. W. (2009): Prevalence and molecular characteristics of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) among pigs on German farms and import of livestock-related MRSA into hospitals. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 28, 1375–1382

Vergleich von Zuluftführungs- und Kühlungssystemen in der Schweinemast

Comparison of different air supply and cooling systems in pig fattening houses

JOACHIM THREM¹, EVA GALLMANN¹, WILHELM PFLANZ², THOMAS JUNGBLUTH¹

¹ Institut für Agrartechnik, Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme, Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart

² Bildungs- und Wissenszentrum LSZ Boxberg, 97944 Boxberg-Windischbuch

Schlüsselwörter: Kühlpad, Hochdruckbefeuchtung, Unterflurzuluft, Kühlungssysteme
Keywords: cooling systems, cooling pad, underfloor air inlet, high pressure humidifier

Zusammenfassung

Es besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Gestaltung und des Managements von Kühlmöglichkeiten für Schweine und hinsichtlich der Bewertung der Kühl- und Ressourceneffizienz und der Wirkungen auf Stallklima und Umwelt. Im Rahmen eines Entscheidungshilfeporhabens für das BMELV an der Landesanstalt für Schweinezucht (LSZ) in Boxberg sowie auf drei Praxisbetrieben sind verschiedene Zuluftführungs- bzw. Kühlungsvarianten Gegenstand zweijähriger Untersuchungen. In diesem Beitrag liegt der Fokus auf der Bewertung des Messsystems und den ersten Ergebnissen zu Temperaturverläufen, Luftgeschwindigkeits- und Unterdruckmessungen der seit Anfang 2011 laufenden Vergleichsmessungen an der LSZ Boxberg. Hier wurden die Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten Unterflurzuluft, Kühlpad und Hochdruckbefeuchtung realisiert.

Summary

There is a need for research regarding the optimization of air supply and of air cooling systems of livestock houses for fatteners. A decision support project for the German Ministry of Agriculture has been established to investigate such technologies on a research farm and under practical conditions. Since April 2011, on the research farm Landesanstalt für Schweinezucht (LSZ Boxberg) measurements on three air supply and cooling systems are carried out: a) Underfloor air inlet and supply; b) Cooling pad, c) High pressure evaporative indoor air cooling. First results show differences concerning the parameters temperature, differential pressure and air velocity.

1 Einleitung

In der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TIERSCHNUTZV 2009) wird unter § 22 verlangt, dass in Schweineställen eine Vorrichtung vorhanden sein muss, die eine Verminderung der Wärmebelastung der Schweine bei hohen Stalllufttemperaturen ermöglicht. Hinsichtlich der Gestaltung und des Managements der Kühlmöglichkeiten bzw. der Voraussetzungen und Leistungen, besteht Forschungsbedarf. Besonders, da bisher eine fundierte Datenbasis für die Bewertung der Kühl- und Ressourceneffizienz sowie der Wirkungen auf Stallklima und Umwelt nicht vorliegt. Aus diesem Grund sind im Rahmen eines Entscheidungshilfeporhabens für das BMELV an der Landesanstalt für Schweinezucht (LSZ) in Boxberg sowie auf drei Praxisbetrieben verschiedene Zuluftführungs- bzw. Kühlungsvarianten Gegenstand umfangreicher zweijähriger Untersuchungen. In diesem Beitrag liegt der Fokus daher auf der Beschreibung des Messsystems und ersten beispielhaften Messergebnissen zu Temperaturverläufen und Unterdruckmessungen der seit Anfang 2011 laufenden Vergleichsmessungen an der LSZ Boxberg.

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen an der LSZ Boxberg werden in vier baugleichen Abteilen mit je sechs Buchten durchgeführt. Diese sind mit Vollspaltenboden und einer Sensorflüssigfütterung ausgestattet. In einem Abteil befinden sich pro Mastdurchgang 125 Tiere. In einer Bucht befinden sich zwischen 20–22 Tiere, wobei der Platz pro Tier ca. 1,10 m² beträgt. Die Tiere werden mit einem Gewicht von 28 kg eingestallt und nach 17 Wochen mit einem Gewicht von ca. 118 kg ausgestallt. Tabelle 1 fasst die Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten zusammen.

Tab. 1: Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten an der LSZ Boxberg

Tab. 1: Air supply and air cooling variants at the research farm

	Referenz	Unterflurzuluft	Hochdruckbefeuchtung	Kühlpad
Zuluft	von außen über Dachraum und Porendecke	von außen über zentralen Unterflurkanal mit Unterflureintritt in Versorgungsgang des Abteiles und Überströmung der Buchtenabtrennungen	von außen über Dachraum und Porendecke	an Stirnseite des Stallgebäudes über Kühlpad (Flächenkühler auf Wasserbasis), dann über Dachraum und Porendecke
Abluft	dezentral Messventilator	dezentral Messventilator	dezentral Messventilator	dezentral Messventilator
Kühlung	ohne	Wärmetausch an Kanalwänden	Hochdruckbefeuchtung der Stallluft (ggf. auch zur Befeuchtung im Winter)	Befeuchtung der Zuluft (nur bei Wärmebelastung)
Heizung	Deltarohre unter der Porendecke	Wärmetausch an Kanalwänden	Deltarohre unter der Porendecke	Deltarohre unter der Porendecke

Untersuchungsschwerpunkte sind die Stallklimaparameter, Temperatur, Luftfeuchte, Differenzdruck, Luftgeschwindigkeit und Luftvolumenstrom. Des Weiteren werden der Energie- und Wasserverbrauch sowie die Gaskonzentrationen bzw. Gasemissionen von Ammoniak, Kohlendioxid und Methan gemessen. Schließlich sollen Aspekte des Tierwohlbefindens und zur Wirtschaftlichkeit in die Gesamtbewertung einfließen. Die genannten Stallklimaparameter werden mit der Messwerterfassung der Firma Ahlborn mindestens minütlich erfasst. Mit der Messwerterfassung der Firma Wago werden die Verbrauchsdaten über entsprechende Zählermodule (Strom- und Wasserzähler) aufgezeichnet. Mittels des Multigasmonitors 1412 der Firma Lumasense werden die Schadgaskonzentrationen quasi-kontinuierlich gemessen. Diese drei Messwerterfassungssysteme sind mit einer zentralen Datenbank vernetzt, auf der alle Rohdaten zusammenfließen und aufgezeichnet werden.

Zur Erfassung der Klimadaten wurden die Messsensoren in vier Bereichen angebracht. a) Außenbereich; b) Weg von außen zum Tierbereich; c) Tierbereich; d) Weg aus dem Stall (Abluft). Abbildung 1 zeigt die Positionierung der Sensoren am Beispiel der Variante Unterflurzuluft.

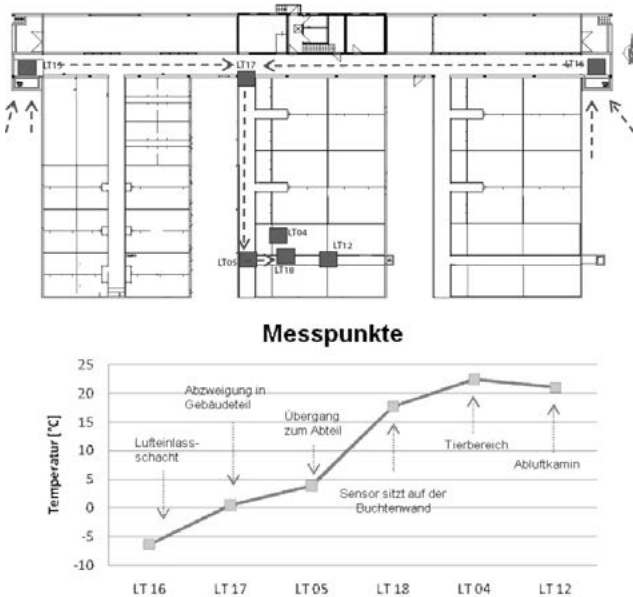


Abb. 1: Positionierung der Temperaturfühler am Beispiel der Variante Unterflurzuluft
 Fig. 1: Position of the temperature sensors using the example of the variant underfloor air inlet and supply

Hierbei ist die Messung im Außenbereich abhängig vom Einlasspunkt der jeweiligen Lüftung. So wird bei der Unterflurzuluft bodennah gemessen, wohingegen bei den anderen drei Abteilen am Lufteintritt in den Dachraum in einer Höhe von 3,20 m gemessen wird. Im Tierbereich sind die Sensoren für Temperatur bzw. Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit in einer Höhe von 80 cm in der Bucht angebracht. Zum Schutz der

Sensoren befinden diese sich in einem Käfig, der von allen Seiten von der Luft angeströmt werden kann. Im Abluftkamin befinden sich des Weiteren ein Luftfeuchte- und ein Temperaturfühler sowie ein Messventilator. Der Wasserverbrauch an den Tränken wird pro Abteil dokumentiert; weiterhin sind vor der Hochdruckbefeuchtungsanlage und am Zulauf der Kühlpads Wasseruhren installiert. Die Wärmemengenzähler befinden sich jeweils an den Heizleitungen zu den Abteilen und an den Wastraplatten innerhalb des Kanals der Unterflurzuluft an deren Einlass. Die Wastraplatten sind dort zur Frostsicherung angebracht. Türkontakte stellen sicher, dass Messzeiträume, in denen die Tür offen stand, von der Datenauswertung ausgeschlossen werden.

3 Ergebnisse

In diesem Beitrag liegt der Fokus auf ersten beispielhaften Messergebnissen zu Temperaturverläufen und Unterdruckmessungen der seit Anfang 2011 laufenden Vergleichsmessungen an der LSZ Boxberg. Es werden exemplarisch die Daten von zwei hinsichtlich der Außentemperatur markanten Tagen präsentiert. Dies waren der 31. Januar 2011, da hier die durchschnittliche Tagestemperatur mit $-6,9\text{ °C}$ sehr niedrig war und der 07. April 2011, weil die Schwankung zwischen der Tages- und Nachttemperatur mit 8,8 zu $24,1\text{ °C}$ sehr groß war. Des Weiteren werden Daten eines Differenzdruckversuchs herangezogen.

3.1 Januartag

Im Winter ist der Ort, von dem aus die Luft angesaugt wird, von Bedeutung (Abb. 2). Es zeigten sich Temperaturunterschiede bodennah im Vergleich zu 3,20 m Höhe. So ergab die Tagesdurchschnittstemperatur für die Messung in 3,20 m einen Wert von $-6,9\text{ °C}$, wohingegen die Temperatur, welche an der bodennahen Öffnung zur Unterflurlüftung ermittelt wurde, im Schnitt um 1,6 K höher war. Bei der Führung der Luft durch den Dachraum war eine geringfügige Erwärmung der Luft zu messen. So erwärmte sich die Luft im Durchschnitt vom Einlass in den Stall durch die Dachgiebelseite bis zum ersten Drittel des Dachraums um 2,5 K und bis zum zweiten Drittel des Dachraums um weitere 0,8 K.

Erwartungsgemäß sind die Erwärmungseffekte in der Unterflurzuluft größer, wie auch anhand der Temperaturdifferenzen zwischen dem Außenfühler (Boden) über die Unterflurkanäle (1. und 2. Abzweigung) in Abbildung 1 zu erkennen ist. Die Unterflurkanäle sind in zwei Bereiche zu unterteilen. Im ersten Bereich befindet sich eine Heizung zur Frostsicherung, die somit einen zusätzlichen Einfluss auf die Erwärmung der Luft hat. Im zweiten Teil sind dagegen keine zusätzlichen Wärmequellen angebracht, wodurch sich die passive Wärmenutzung ermitteln lässt. Im Gegensatz zu der Untersuchung von Van CAENEGEM (2007) verlaufen die Luftkanäle nicht unter beheizten Abteilen, sodass auch hiervon keine „aktive“ Heizenergie Einfluss auf die Erwärmung nimmt. Im ersten Bereich, der 32 m lang ist, erwärmt sich die Luft im Durchschnitt um 6,8 K. Dabei heizten die Wastraplatten mit 189 KW/h über den Tag verteilt. Im zweiten Teil der Lüftungskanäle (26 m Länge) steigt die Temperatur nochmals durchschnittlich um 2,9 K.

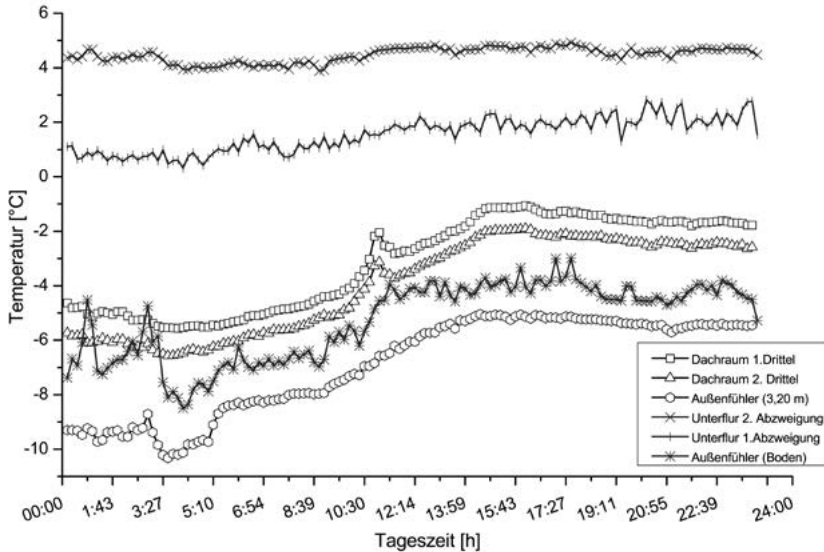


Abb. 2: Unterschiedliche Erwärmung bei der Führung von Luft durch den Dachraum bzw. Keller
 Fig. 2: Difference in temperature rise between air supply via attic or underfloor

Neben der Temperatur wurden auch die Stallparameter Differenzdruck und Luftgeschwindigkeit gemessen. Diese Parameter unterschieden sich zwischen den verschiedenen Zuluftführungsvarianten bei Winterluft rate nicht nennenswert. Bei der Unterflurzuluft wurden die geringsten Luftgeschwindigkeiten im Tierbereich gemessen.

3.2 Apriltag

Bezüglich des Stallklimas ist eine gleich bleibende Temperatur innerhalb des jeweiligen Abteils erwünscht. Dies bedeutet insbesondere in der Übergangsjahreszeit eine Herausforderung, da hier große Temperaturschwankungen auftreten (Abb. 3). So betrug die Tagestiefsttemperatur am 07. April 2011 8,8 °C, und die Höchsttemperatur 24,1 °C. Dies bedeutet einen Temperaturunterschied von rund 15 K, bezogen auf die Außentemperatur in 3,2 m am Einlass in den Dachraum. Am Einlass der Unterflurzuluft betrug die Tiefsttemperatur 9,3 °C und die Höchsttemperatur 24,2 °C.

Diese Schwankungen setzen sich im Abteil fort. In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass sich die Luft am Einlass der Unterflurlüftung bereits früher erwärmt. Grund hierfür ist unter anderem der Stand der Sonne, die den Boden bzw. die Oberfläche aufwärmt. Der Einlass zu den Unterflurkanälen liegt im Osten des Stalles, während der Einlass für die Oberflurlüftungen im Süden liegt. Das Referenzabteil liegt hinsichtlich der erfassten Daten generell leicht über dem der Unterflurzuluft. Besonders groß ist jedoch der Unterschied in Bezug auf die gemessenen Temperaturen am späten Nachmittag, da hier die Temperatur im Tierbereich des Referenzabteils um mehr als 2,5 K höher ist als bei der Variante Unterflurzuluft.

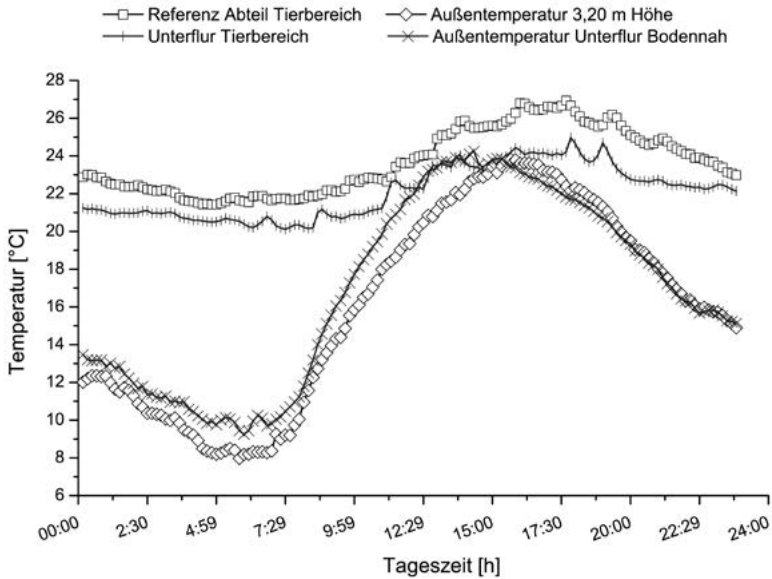


Abb. 3: Temperaturverlauf der Zuluft und im Tierbereich der Unterflurzuluftvariante im Vergleich zum Referenzabteil

Fig. 3: Course of temperature of inlet air and indoor, comparing underfloor air supply and reference with air supply through attic and porous ceiling

3.3 Differenzdruckmessung

Die Messung des Unterdrucks in den Abteilen gibt Hinweise auf den Strömungswiderstand, der sich auf dem Weg der Luft zum Abteil ergibt. Es hat sich gezeigt, dass bei der maximalen Luftrate ein Unterschied zwischen der Unterflurzuluftführung und der Oberflurzuluftführung über Dachraum und Porendecke besteht. Für einen direkten Vergleich wurde in allen Abteilen die Lüfterleistung für etwa eine Stunde auf 100 % eingestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die Variante Unterflurzuluft unter Sommerbedingungen (hohe Luftraten) eine zusätzlicher Lufteintritt direkt in den Versorgungsgang am Abteilende vorhanden ist. Der Luftweg ist damit deutlich verkürzt im Vergleich zu der Luftführung im Winter allein über die Zentralgänge (vgl. Abb. 1).

Wie Abbildung 4 zeigt, liegen bei der Unterflurzuluft der Großteil der Werte zwischen -10 und -18 Pa, während sie bei den anderen drei Abteilen, bis auf einzelne Werte, unter dem Wert von -25 Pa liegen. Die Porendecken mit Vliesabdeckung wirken als nennenswerter Strömungswiderstand bei hohen Luftraten. Auffallend ist auch, dass in dem Referenzabteil sehr konstante Druckverhältnisse herrschten. Bei dem Abteil mit der Hochdruckbefeuchtung ist der Luftwiderstand etwas geringer, da dieses Abteil vor dem Referenzabteil liegt und so die Luft einen kürzeren Weg zurücklegt. Das Kühlpad war zur Zeit der Messung noch nicht im Wasserbetrieb.

4 Ausblick

Die ersten Messungen zeigen, dass sich hinsichtlich der Stallklimaparameter und Verbrauchskenngrößen Unterschiede zwischen den Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten abzeichnen, trotz ansonsten gleicher Bauweise und Einrichtung der Abteile. Die kommenden Sommermonate werden zeigen, welche Variante unter den Gesichtspunkten der Kühleffizienz, der Stallluftqualität, des Tierwohles, der Ökonomie und Funktionalität im Einzelnen und in der Gesamtbewertung vorzüglicher ist. Dabei sollen die Messergebnisse auf je einem Praxisbetriebe zu den Varianten Erdwärmetauscher, Unterflurzuluft und Hochdruckbefeuchtung das Bild ergänzen.

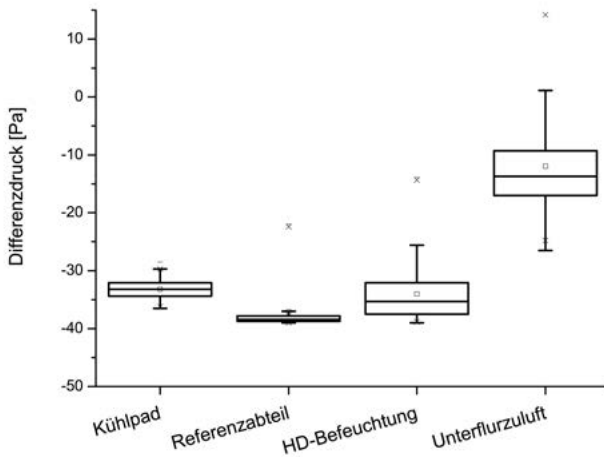


Abb. 4: Differenzdruckmessung bei einer Lüfterleistung von 100 % für ca. eine Stunde
 Fig. 4: Differential room pressure at fan capacity of 100 % during about one hour

Literatur

- TierSchNutztV (2009): Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Oktober 2009 (BGBl. I S. 3223) geändert worden ist
- Van Caenegem, L. (2007): Kostengünstige Alternative zum herkömmlichen Erdwärmetauscher für Abferkelställe. Bau, Technik und Umwelt und der Landwirtschaft vom 8.-10. Oktober 2007, KTBL Tagungsband, 126-137

Förderungshinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), FKZ 2808HS042.

Kühlung von Schweineställen durch Unterflur-Zuluftführung

Cooling pig stables through underground air inlet ducts

GÜNTER BEYERSDORFER, ULRICH GERNAND

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Außenstelle Bad Salzungen

Schlüsselwörter: Stallklima, Unterflurzuluft, Kühlung von Schweineställen

Keywords: ventilation, underground air inlet ducts, cooling of pig stables

Zusammenfassung

Ein Abferkelstallneubau mit 266 Abferkelplätzen (4 Gruppen à 63 Plätze + Reserve) ist bereits bauseitig mit einer Unterflur-Zuluftführung errichtet. Die Installation für Dauermessstellen für Temperatur, Luftfeuchte und Gasanalyse (NH₃, CO₂) ermöglicht die komplexe Auswertung in einem Versuchs- und Vergleichsabschnitt bei unterschiedlichen Kanallängen. Im Ergebnis wurde an Sommertagen mit 28–33 °C eine Zuluftabkühlung von 6 K und an Extremtagen mit 35 °C von 8 K erreicht. Die Zuluftabkühlung bewirkte eine Luftfeuchteregulierung und eine relative Reduzierung der NH₃-Konzentration im Vergleich. Fundamentierte Messreihen zur Temperaturschichtung im Stall liegen vor (0,6 m zu 2,4 m). Tierische Leistungsparameter und Kosten für die Kühlung wurden im Rahmen dieses BMELV-Förderprojektes dokumentiert.

Summary

A new built pig stable with 266 places for lactating sows with new born piglets is equipped with underground air inlet ducts for air conditioning into the sow-area. The installation of measuring points for temperature, air moisture and gas analysis (NH₃, CO₂) enables a complete analysis of the air in two analogical compartments of the pig stable with different lengths of underground ducts for the incoming air. The analysis resulted in an average cooling effect of 6 K at air temperatures from 28 °C to 33 °C, on extreme days of 8 K. The air cooling regulated the air moisture and decreased the average NH₃-concentration for the sows. Basic measurement series for temperatures and NH₃-concentrations at different heights in the compartments (0.6 m and 2.4 m distance to the floor) are documented. The performance of the animals and costs of cooling treatment are documented for this project sponsored by the German ministry of agriculture.

1 Einleitung

In der Agrargenossenschaft „Am Dün“ Deuna e.G. wurde die Sauenanlage Rüdigershagen schrittweise rekonstruiert. Ab 2008 stand der Neubau eines Abferkelstalles an, der für 2 Abrissställe errichtet werden sollte. In der Projektierungsphase fiel die Entscheidung für eine Unterflur-Zuluftführung, damit vorhandene Betonkanäle genutzt werden können.

Der Neubau des Abferkelstalles mit 4 Abteilen mit jeweils 63 Abferkelbuchten und 2×7 Reserveabferkelplätzen erforderte einen Stall mit 52 m Länge und 39,3 m Breite, der auf den Abrissflächen der alten Ställe errichtet wurde.



Abb. 1: Stallanlage (weiße Dächer = Neubau)

Fig. 1: Stable complex (white roofs = new buildings)

Mit der Inbetriebnahme des Stalles Ende 2008 ergab sich die Möglichkeit in den Jahren 2009/2010 innerhalb des KTBL-Projektes „Kühlung von Schweineställen“ umfangreich Daten zu erfassen. Dieses Projekt wurde vom BMELV gefördert.

2 Datenerfassung und Messstelleninstallation

Die zeitliche Übereinstimmung der Inbetriebnahme der Abferkelabteile im Neubaustall mit dem Beginn des KTBL-Projektes ermöglichte es, ein festes Messstellensystem für Temperatur, Feuchte und Gasanalyse in 2 identischen Abferkelabteilen zu installieren. Durch die unterschiedliche Zuluftführung Betonkanäle + $\frac{1}{2}$ Unterflurbereich als Versuchsabteil und $\frac{1}{2}$ Unterflurbereich in direkter Verbindung zur Außenluft als Vergleichsabteil wurden direkte Vergleichsmessungen zu Stalltemperaturen, Luftfeuchte, Staub-, Ammoniak- und CO_2 -Gehalt möglich.

Die Erhebung von baulichen Kennwerten, Betriebskosten und tierischen Leistungsparametern waren an den Vorgaben des KTBL-Projektes ausgerichtet, aber nicht in jedem Fall bis auf die Abferkelgruppe aufzuteilen. Abbildung 2 zeigt die wichtigsten Messstellen im Lageplan und schematisch die Zuluftführung.

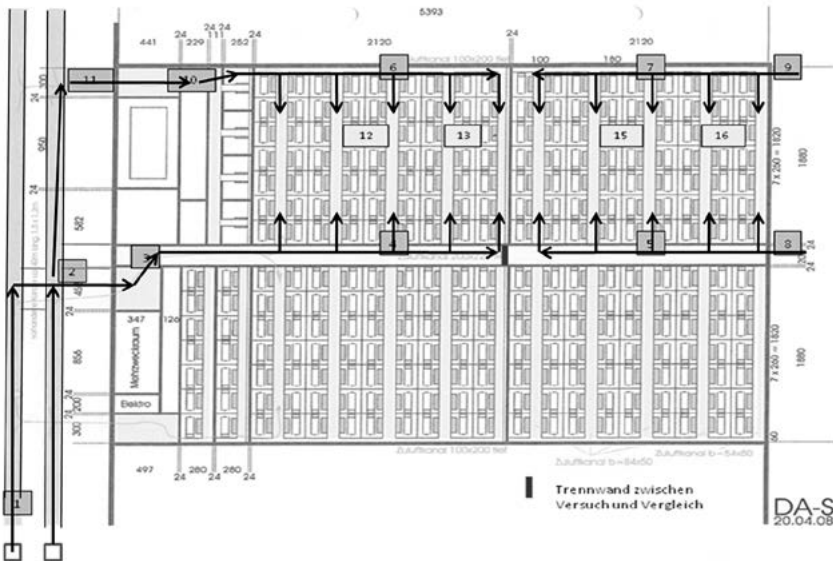


Abb. 2: Lageplan der Messstellen und Zuluftkanäle
 Fig. 2: Lay-out of measuring points and air inlet ducts

Schema Luftströmung im Stall

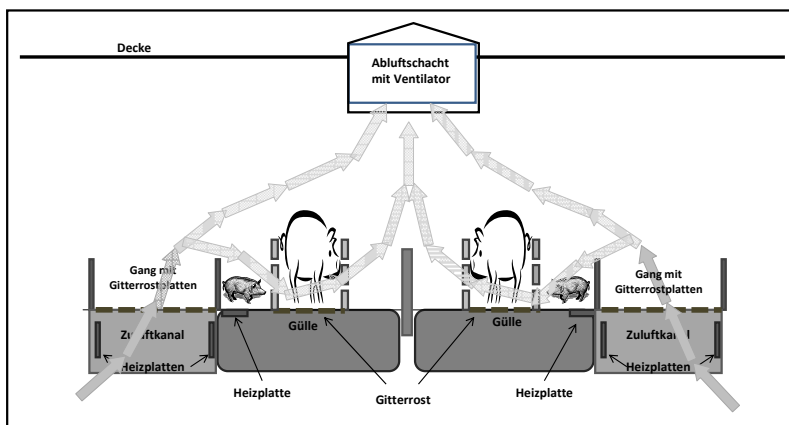


Abb. 3: Luftführung aus Unterflurbereich durch Abteil im Querschnitt
 Fig. 3: Air flow from underfloor area into the compartment

Abbildung 3 zeigt anschaulich im Querprofil die Zuluftführung aus dem Unterflurbereich in das Abteil.

Mit dem Bau eines zentralen begehbaren Zuluftkanals für alle 4 Abferkelabteile ergab sich auch die offene Installation der Gülleabflussleitungen in diesem Zentralgang. Das erleichtert die Bewirtschaftung und sorgt für gute Zugangsverhältnisse bei Havarien.

Die Messung der Konzentrationen von NH_3 , CO_2 und Wasserdampf erfolgte mit einem INNOVA-Multigasanalysegerät als Auftragsleistung durch die TLUG (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie). Die Messperioden wurden in die Sommermonate gelegt um parallel zu den kontinuierlichen Messungen auch heiße Außentemperaturphasen zu erfassen. Als Stichtagsmessung erfolgte die Erfassung der Gesamt- und Feinstaubwerte in den Stallabteilen.

3 Messergebnisse

3.1 Temperatur und Luftfeuchte

Der Temperaturverlauf (Abb. 4) an ausgewählten Messstellen entlang der Zuluftführung des heißesten Tages zeigt die Leistungsfähigkeit der Unterflurzuluft zur Stallklimatisierung.

Bereits im Ansaugschacht steigt die Temperatur deutlich langsamer an als außen, die Maximalwerte werden erst am Nachmittag erreicht. Bereits vor der Verzweigung in die Kellergänge liegt in den Abendstunden die Maximaltemperatur um 5 K unter dem Tagesmaximum im Außenbereich. An der Eintrittsstelle in das Stallabteil liegt die Tempe-

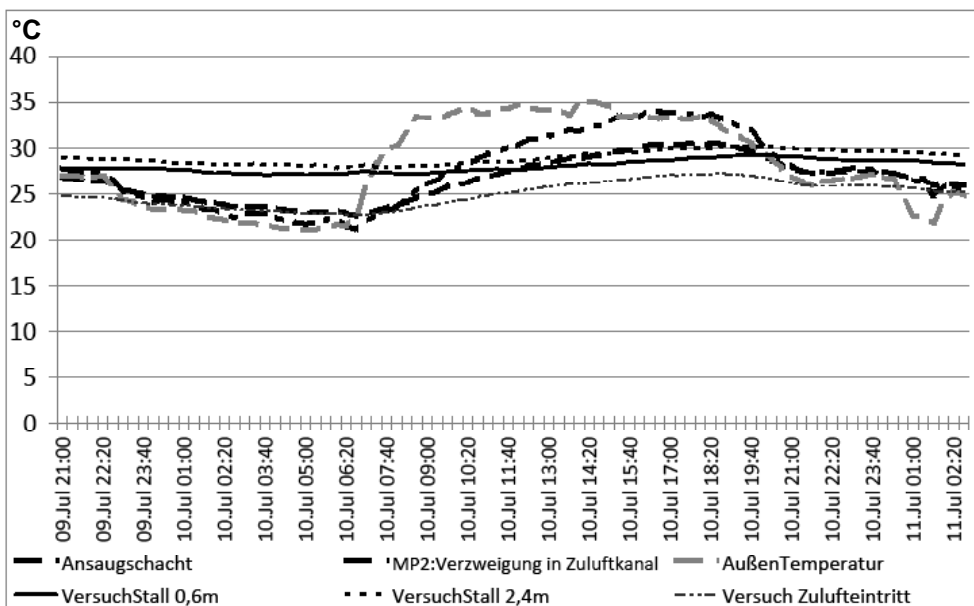


Abb. 4: Temperaturverlauf an einem heißen Tag

Fig. 4: Temperature variation during a hot day

ratur um bis zu 8 K niedriger als die Außentemperatur. Im Abteil, dessen Solltemperatur auf 25 °C eingestellt ist, ergeben sich infolge der Abwärme der Sauen und Ferkelnestheizung Temperaturen zwischen 27 und 29 °C im Bereich der Sauen. Die am Tag von den Wänden des Zuluftkanals aufgenommene Wärme wird in der Nacht wieder abgegeben. Infolge der Zuluft von unten bildet sich eine deutliche Temperaturschichtung mit ca. 2 K Differenz von oben nach unten.

Abbildung 5 zeigt den Temperaturverlauf an 3 aufeinanderfolgenden warmen Tagen. Hier wird die Phasenverschiebung der Maxima der Außen- und Zulufttemperatur deutlich. Gut zu erkennen auch die niedrigeren Temperaturen im unteren Bereich (Messhöhe 0,6 m über Boden), der für die Sauen relevant ist, gegenüber der Ablufttemperatur. Im Gegensatz dazu wird bei einer Rieseldecke die von oben eintretende, eventuell gekühlte Luft bereits beim Absenken, vor Erreichen der Sau erwärmt und der Aufwand zur Kühlung der Zuluft in der Wirkung abgeschwächt.

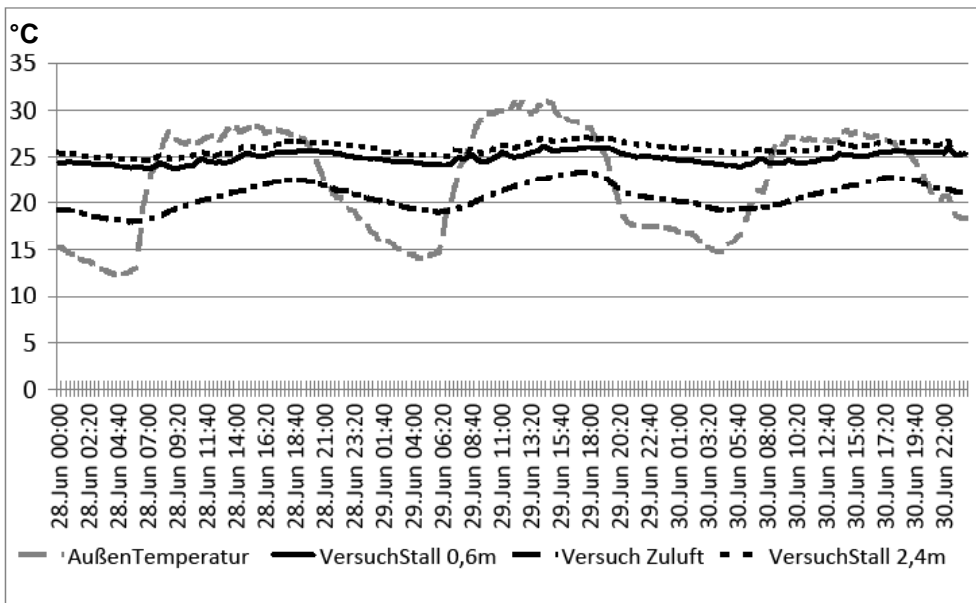


Abb. 5: Temperaturverlauf an 3 aufeinanderfolgenden warmen Tagen

Fig. 5: Temperature variation at 3 consecutive warm days

Zur Luftfeuchte konnten in keinem Fall kritische Verhältnisse festgestellt werden. Die relative Feuchte im Stall lag immer im Bereich zwischen 40 und 70 % rF. Auch bei sehr feuchter Außenluft gibt diese beim Abkühlen im Zuluftkanal bei Taupunktunterschreitung Feuchtigkeit ab und trocknet bei der anschließenden Erwärmung im Stall so weit, dass sie auch die dort verdunstende Wassermenge aufnehmen kann.

3.2 Ammoniak

Die Ammoniakkonzentration im Stall in der für die Sauen relevanten Höhe (0,6 m) und am Abluftschacht (2,4 m) im Verlauf von 3 Tagen wird in Abbildung 6 gezeigt.

Auch hier zeigt sich der Vorteil der Luftzuführung von unten. Im Bereich der Schnauze ist die Ammoniakkonzentration nur gering gegenüber der Außenluft erhöht. In 2,4 m Höhe ist dagegen bereits eine deutliche NH_3 -Anreicherung um ca. 5 mg/m^3 erkennbar. Aber auch diese Konzentrationen zwischen 5 und 9 mg/m^3 sowie die im Vergleichsstall 10–15 % höheren Werte sind noch im grünen Bereich.

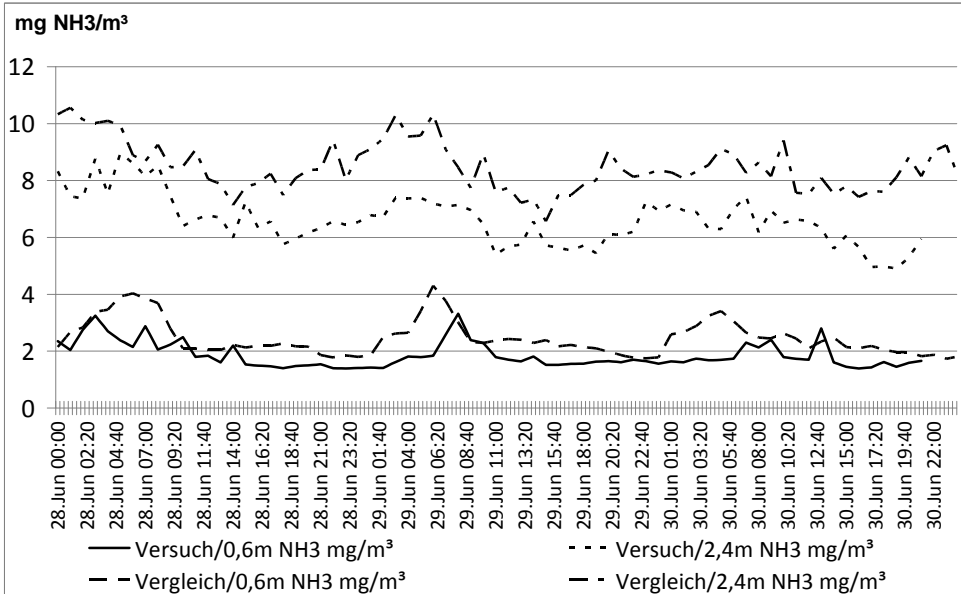


Abb. 6: Ammoniakkonzentration im Stall in 0,6 m und 2,4 m Höhe

Fig. 6: Ammonia concentration in the stable at a height of 0.6 m and 2.4 m

3.3 Tierische Leistungen

Die im Versuchs- und Vergleichsabteil erreichten Aufzuchtleistungen sind für einen ausgewählten Zeitraum exemplarisch in Tabelle 1 gegenübergestellt. Dabei zeigt sich trotz des geringen Temperaturvorteils von 1–2 K in den kritischen Wetterperioden ein deutlicher Vorteil des besser temperierten Versuchsstalles.

Auch bei der Umrauscherquote ist das Versuchsabteil im Vorteil wie in Abbildung 7 zu sehen ist. Infolge der Überlagerung anderer Einflussgrößen fällt diese Aussage weniger deutlich aus.

Der Anstieg der Umrauscherquote während Hitzeperioden ist im Versuchsabteil meist deutlich geringer. Wegen der Vielzahl überlagerter Einflussgrößen und weil die Trächtigkeit erst zeitversetzt festgestellt werden kann, wäre die Verlängerung des Auswertzeitraumes wünschenswert.

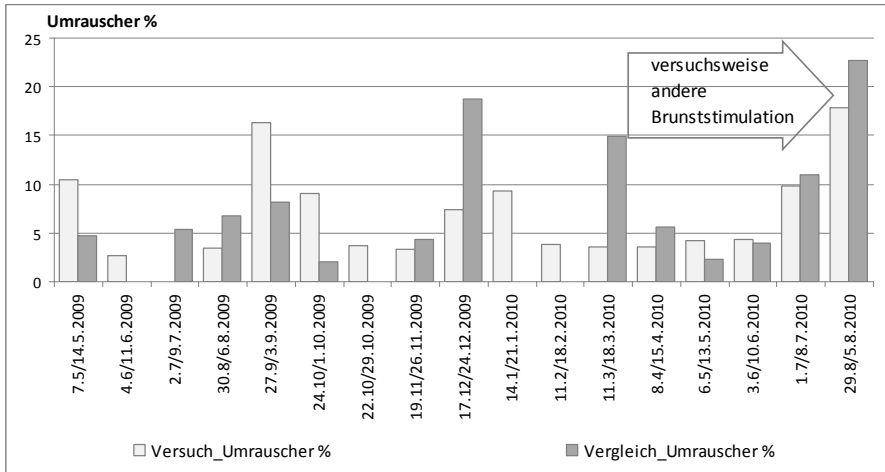


Abb. 7: Verlauf der Umrauscherquote im Vergleich
 Fig. 7: Comparison of the course of the return rate

Tab. 1: Leistungsdaten Juli/August aus dem Versuchs- und Vergleichsabteil des Abferkelstalles
 Tab. 1: Performance data Juli/August in the two compartments of the stable

Zeitraum	4.6.–1.7.10 Versuch	11.6.–8.7.10 Vergleich	2.7.–29.7.10 Versuch	9.7.–2.8.10 Vergleich
Anzahl Sauen	63	62	63	59
Leb. geb. Ferkel je Wurf	13,85	13,9	13,55	12,8
Abgesetzte Ferkel je Wurf	12,71	12,1	12,31	11,1
Ferkelverluste %	8,3	13,0	9,2	13,1

4 Zusammenfassung und Ausblick

- Signifikante Glättung der Tag-Nacht-Schwankungen: Die Luftführung durch Bodenkanälen bewirkt eine Reduzierung der Tag-Nacht-Spreizung. Im Sommer 2010 wurden bei Tag-Nacht-Differenzen von 18 K im Freien am Lufteintritt in den Stall 4 K Differenz festgestellt.
- Die Kühlkapazität eines Unterflursystems wird immer von den örtlichen Bedingungen abhängen (Kanallänge und Geometrie, Ort des Außenlufteintritts in Abhängigkeit von Wind und Sonneneinstrahlung).
- In unserem Versuchsstall wurde 2009 bei maximalen Außentemperaturen von 34 °C die Stalltemperatur auf 28 °C begrenzt und 2010 bei einer Außentemperatur von 35 °C das Maximum für die Sau auf 29 °C begrenzt. Im Vergleichsabteil (Zuluft über kurzen Kellergang) wurden gleichzeitig 30 °C gemessen, was die Wirksamkeit der Luftzuführung über die Bodenkanäle unterstreicht.

- In Perioden von 3 bis 5 Tagen in Folge mit Tagestemperaturmaxima zwischen 28 und 30 °C konnte in der Zuluft eine Maximaltemperatur von unter 24 °C über die gesamte Zeit gehalten werden, an dem folgenden Tag mit 35 °C außen stieg die Zulufttemperatur nicht über 27 °C. Über länger anhaltende Hitzeperioden ist keine Aussage möglich.
- Von einer zusätzlichen Befeuchtung zwecks Abkühlung wird abgeraten, der erreichbare Effekt ist vergleichsweise gering.
- Von grundsätzlicher Bedeutung ist die nachgewiesene Temperaturschichtung im Abteil von Schnauzenhöhe bis Eingang Ablüfter. Das erbringt auch sehr günstige NH₃-Werte im Tierbereich.
- Ein wichtiger Kennwert der tierische Leistung ist die Anzahl der abgesetzten Ferkel je Wurf. In den Sommermonaten 2009 und 2010 sind die ermittelten Werte in der Variante mit der langen Unterflur-Zuluftführung besser, wobei der direkte Vergleich zu herkömmlichen Oberflur-Zuluftställen fehlt (abgesetzte Ferkel +0,3 bis 0,5 je Wurf, Verluste 9 % zu 13 %).
- Damit ist der Nachweis der Wirksamkeit bezüglich der Raumtemperaturbeeinflussung durch Unterflursysteme erbracht.
- Der Neubau oder die Rekonstruktion mit Unterflur-Zuluftführung erfordert einen erhöhten Bauaufwand (+6,3 % im Versuchsstall). Dem stehen nachgewiesene Einsparungen bei Betriebskosten für Stallheizung und Stromersparnis für Lüftung gegenüber. Bei unserem Stall würde ohne Berücksichtigung der tierischen Leistungen eine Amortisationszeit von 16 Jahren erreicht.
- Bei weiteren Projekten mit Unterflurzuluft ist bereits in der Bauprojektierung darauf zu achten, dass die gekühlte Zuluft im Sauenbereich einströmt (entsprechend Nasenlüftung) und nicht bei den Ferkeln. Damit sind auch bautechnische Vorteile zu erzielen. Vorhandene Unterflur-Reservoirs sollten unbedingt genutzt werden.

Systematisierung des Emissionsverhaltens von Offenställen – hier am Beispiel eines Boxenlaufstalles mit Sheddach

Systematisation of the emission behaviour of open stables – here using the example of a lying box loose housing with a shed roof

KARL-HEINZ KRAUSE, STEFAN LINKE

J. H. von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik (AB), Abteilung Biosystemtechnik (BST), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Schlüsselwörter: Emissionsfaktor, Freie Lüftung, Simulationstechnik
Keywords: *emission factor, free ventilation, simulation technique*

Zusammenfassung

Es soll der Emissionsmassenstrom an Ammoniak aus einem geplanten Boxenlaufstall mit Sheddach bestimmt werden. Dazu wird eine komplexe dreidimensionale Computersimulation herangezogen, die die Stofffreisetzung aus dem Stall mit freier Lüftung zeigt. Der Emissionsmassenstrom ist von der Windanströmrichtung und der Windgeschwindigkeit abhängig. Mit Bezug auf den Tierplatz entspricht der spezifische Massenstrom dem Emissionsfaktor für Ammoniak. Die Computersimulationen machen deutlich, dass er nicht als eine konstante Größe anzusehen ist. Eine Ausbreitungsrechnung mit der Annahme eines konstanten Emissionsfaktors ist somit wenig vertrauenswürdig. Mithilfe des Emissionsmodells DEMAP, das auf der Untersuchung von zahlreichen Stallanlagen beruht, können die Emissionsfaktoren an den einzelnen Schnittstellen zwischen Stall und Umwelt in Abhängigkeit von Windrichtung und Windgeschwindigkeit näherungsweise angegeben werden, ohne aufwändige Computersimulationen heranziehen zu müssen.

Summary

The emission stream of ammonia leaving a planned lying box loose housing with shed roof is to be determined. Therefore a complex three dimensional computer simulation is used showing the emission of substances from the stable with free ventilation. The emission mass stream depends on the wind direction and wind velocity. With refer to the animal place the specific mass stream corresponds to the emission factor of ammonia. By the computer simulation it becomes apparent that this factor is not constant. A dispersion simulation which is based on such simplification cannot be considered trustworthy. With help of the emission model DEMAP relying on investigations of several animal plants the emissions factors of the single interfaces can be indicated in dependency on wind direction and wind velocity without consulting extensive computer simulations.

1 Allgemeine Problematik

In manchen Fällen entscheidet im unmittelbaren Nahbereich die Ausbreitung von Emissionen aus Offenstallanlagen im Hinblick auf Geruch, Ammoniak und Staub über die Genehmigungsfähigkeit des Stallbaus. Hier geht es darum, einen geplanten Boxenlaufstall mit Sheddach in seinem Emissionsverhalten und damit auch mit Blick auf die zu erwartenden Immissionen einzustufen. Messdaten liegen zwangsläufig nicht vor, wohl aber Pauschalaussagen über die Emissionen aus Rinderställen in der RL VDI 3894-E [1], die hier bezüglich ihrer Anwendbarkeit auf Offenställe untersucht werden. Wenn ein Landwirt in Verbindung mit seinen Beratern eine Stallkonzeption entwickelt hat, dann stehen sie vor der Kardinalfrage des Nachweises der Vorzüglichkeit ihres Ansatzes.

2 Emissionsmassenstrom als Basis für Ausbreitungsrechnungen

Abbildung 1 zeigt den geplanten Liegeboxenlaufstall mit 75 Rinderplätzen. Er weist 5 Öffnungen zur Umwelt aus. Es wird untersucht, welche Emissionsmassenströme sich ergeben, wenn der Stall mit Firstausdehnung in Ost-West-Richtung unterschiedlich vom atmosphärischen Wind angeströmt wird. Ob analytisch oder numerisch, die Immissionskonzentration C bestimmt sich stets nach dem folgenden Ansatz:

$$C(x, y, z) = \sum_{\alpha=1, U=1, AK=1}^{36,9,6} C_0 \frac{\dot{V}_0(\alpha, U)}{\dot{V}_{atmos}(\alpha, U, AK)} H(\alpha, U, AK) \quad (1)$$

C_0 steht für die Quellenkonzentration, \dot{V} für den Volumenstrom. Die Immissionskonzentration C bestimmt sich in der Weise, wie sich die Quellenkonzentration im Verhältnis des Emissionsvolumenstromes (Index 0) im atmosphärischen (Index $atmos$) Windvolumenstrom verdünnt. Die Verdünnung hängt von den meteorologischen Parametern, also der Windrichtung α , der Windgeschwindigkeit U und der Turbulenz AK ab, wobei alle Größen hier klassiert auftreten. Gl.(1) vereinfacht sich erheblich, wenn das Emissionsvolumen nicht von den meteorologischen Parametern abhängt. Dann kann das Produkt, das den Emissionsmassenstrom kennzeichnet, wie z.B. bei der Zwangslüftung,

$$\dot{M}_0 = C_0 \dot{V}_0 \quad (2)$$

vor das Summationszeichen gezogen werden:

$$C(x, y, z) = \dot{M}_0 \sum_{\alpha=1, U=1, AK=1}^{36,9,6} \frac{H(\alpha, U, AK)}{\dot{V}_{atmos}(\alpha, U, AK)} \quad (3)$$

Bezieht man dann den Emissionsmassenstrom auf die Tiermasse M_T bzw. auf den Tierplatz T_p , dann kommt man auf den sog. Emissionsfaktor f_e

$$f_e = \frac{\dot{M}_0}{M_T} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\dot{M}_0}{T_p} \quad (4)$$

Damit lassen sich die Emissionsbedingungen von den meteorologischen Abhängigkeiten abkoppeln. Pauschalaussagen über die Emissionen finden sich in der RL VDI 3892-E [1]; für einen Liegeboxenlaufstall beträgt der Ammoniakemissionsfaktor 14,6 kg pro Jahr und T_p , umgerechnet $0,000463 \text{ g s}^{-1} T_p^{-1}$.

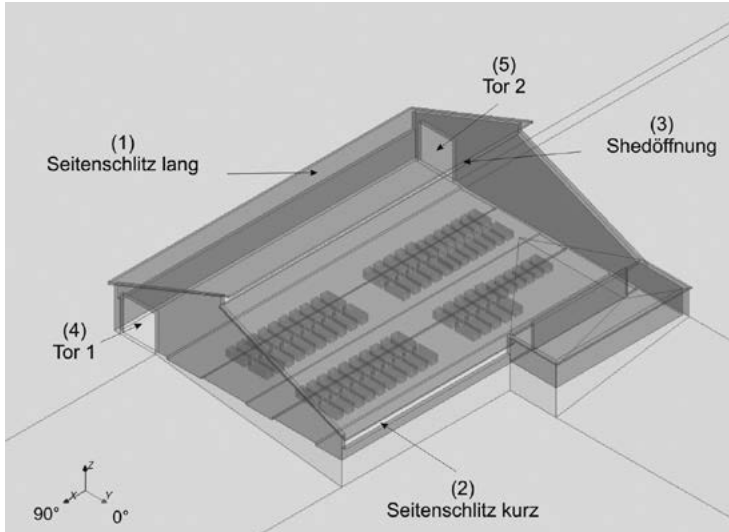


Abb. 1: Das kartesische Koordinatensystem zeigt die Raumrichtungen x , y , z an. In der horizontalen x - y -Ebene weist 0° auf die meteorologische Einteilung Nord und 90° auf Ost hin. Der Liegeboxenlaufstall bietet Platz für 75 Kühe, die als Quader mit Wärmeabgabe dargestellt sind. Fünf Schnittstellen zur Umwelt sind vorhanden: 1. lange, 2. kurze Seitenwandöffnung, 3. Sheddachöffnung (alle im Mittel hälftig geöffnet), 4. Tor auf der rechten Seite mit Blickrichtung nach Norden und 5. Tor auf der linken Seite (die bei Windgeschwindigkeiten über 5 m/s geschlossen sind). Der Spaltenboden im Stall fungiert als Ammoniakquelle. Der atmosphärische Wind, der durch die Öffnungen in den Stallraum gelangt, sucht sich aufgrund der Druckverteilung seinen emissionsbefrachteten „Ausweg“

Fig. 1: The Cartesian coordinate system shows the space directions x , y , z . In the horizontal x - y -plane 0° refers to the meteorological arrangement north and 90° to east. The lying box loose housing has room for 75 cattle presented here as cuboids with heat exchange. There are five interfaces to the environment: 1. a long, 2. a short sidewall opening, 3. shed roof opening (all half-opened on average), 4. door on the right side with viewing direction to north and 5. door on the left side (which are closed when the wind speed exceeds 5 m/s). The slatted floor represents the ammonia source. The atmospheric wind coming into the stable room through the openings searches for an emission loaded way out forced by the pressure distribution

3 Bestimmung des Emissionsmassenstromes

Die zahlreichen Untersuchungen zum Emissionsverhalten von Tierställen haben das Emissionsmodell DEMAP entstehen lassen [2]. Es gibt den bezogenen Emissionsmassenstrom bzw. die Emissionsrate f_e an:

$$f_e = \frac{\dot{M}_0}{M_T} = N e^{A+B(1-\frac{C_B}{C_0})} \quad (5)$$

C_B kennzeichnet die Bodenkonzentration, N die Lüftungsrate. In der Rinderhaltung ergeben sich bei Ammoniak die Koeffizienten $A = -14,3096$ und $B = -0,1344$ [3].

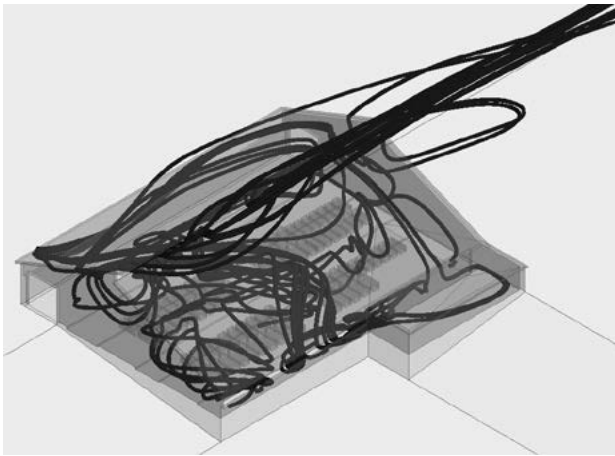


Abb. 2 zeigt den Stromlinienverlauf bei Ostanströmung des Stalles. Bevor die eingedrungene Luft mit Ammoniak befrachtet den Stall verlässt, erfolgt eine verschlungene Luftbewegung durch den Stall. Es wird die Windanströmung für alle 45°-Sektoren mit 1, 2 und 4,5 m/s simuliert. An allen Austrittsquerschnitten wird dabei der Emissionsmassenstrom ermittelt

Fig. 2 shows the distribution of streamlines in the case of east wind. Before the air leaves the stable loaded with ammonia an intricate air motion through the stable room happens. The incoming wind is simulated for all 45° sectors with 1, 2 and 4.5 m/s. At all outlet cross sections the emission stream of ammonia is determined

Die mittlere jährliche Abluftrate liefert bei der Zwangslüftung (Index ZL) die Beziehung

$$N = N_{ZL} = 0,47 \frac{\dot{v}_0 M_T}{V_R} \quad (6)$$

V_R kennzeichnet das Stallvolumen; die spezifische Lüftungsrate beläuft sich auf $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ GV}^{-1}$. Bei freier Lüftung (Index FL) erhält man mit der wirksamen Einströmfläche und der wirksamen Windanströmungsgeschwindigkeit eine von den meteorologischen Parametern abhängige Luftwechselrate;

$$N = N_{FL} = \sum_{\alpha=1, U=1}^{36,9} \frac{A_W(\alpha)}{V_R} UH(\alpha, U) \quad (7)$$

vgl. hierzu GL.(1). Zu dieser Erkenntnis führen auch die numerischen Simulationen. Die Auswertung der Untersuchungen, wie in der Legende zur Abbildung 2 beschrieben, ergeben die in Abbildung 3 zusammengetragenen Ergebnisse.

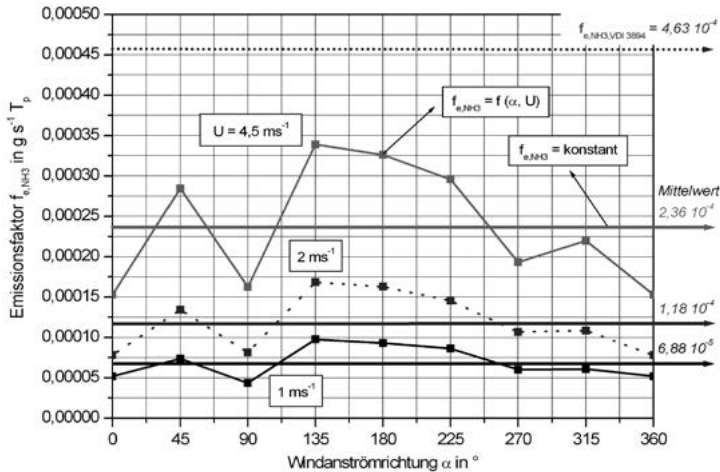


Abb. 3 gibt in Abhängigkeit von der Windanströmrichtung den Verlauf des auf 75 T_p bezogenen Emissionsfaktors an, und zwar für drei Windgeschwindigkeiten. Die horizontalen Linien kennzeichnen die jeweiligen Mittelwerte und oben den Wert gemäß [1]

Fig. 3 shows the course of the emission factor with refer to 75 animal places in dependency on the wind direction. The horizontal lines mark the corresponding mean values and at the top that one of [1].

Der Emissionsfaktor ändert sich mit der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit. Die simulierten Emissionsfaktoren liegen deutlich unter dem Wert der RL VDI 3894 von $4,63 \times 10^{-4} \text{ g s}^{-1} \text{ T}_p^{-1}$. Sie durch einen konstanten Wert, z.B. den jeweiligen Mittelwert, zu ersetzen, führt für einige Windrichtungen zu großen relativen Fehlern. Ferner ist zu konstatieren, dass die Fehler am größten gegenüber dem Richtlinienwert gemäß VDI 3894 sind, siehe Abbildung 4.

Man kann den relativen Fehler dadurch reduzieren, indem man den simulierten Emissionsfaktor anwachsen lässt, siehe Gl.(8). Dazu muss man die Bodenkonzentration auf hohe Werte ändern, z.B. von 20 ppm auf 400 ppm. Man kommt dann von Fehlern zwischen 0 bis zu - 1000 % in Fehlerbereiche von 55 bis 100 %. Dabei steigen aber die stallinternen Konzentrationswerte erheblich an, sodass dieser Weg als formal abzutun ist. Es gilt für den relativen Fehler die Beziehung

$$\text{Rel. Fehler} = \frac{f_{e,Simulation} - f_{VDI3894}}{f_{e,Simulation}} 100 = \left[1 - \frac{f_{e,Simulation}}{f_{e,VDI3894}} \right] 100 \quad (8)$$

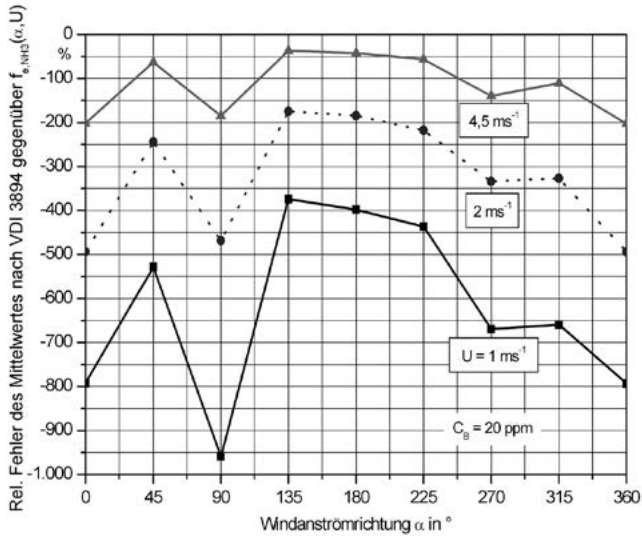


Abb. 4 zeigt den relativen Fehler des simulierten Emissionsfaktors gegenüber demjenigen nach der RL VDI 3894

Fig. 4 shows the relative error of the simulated emission factor in comparison to that of the guideline VDI 3894

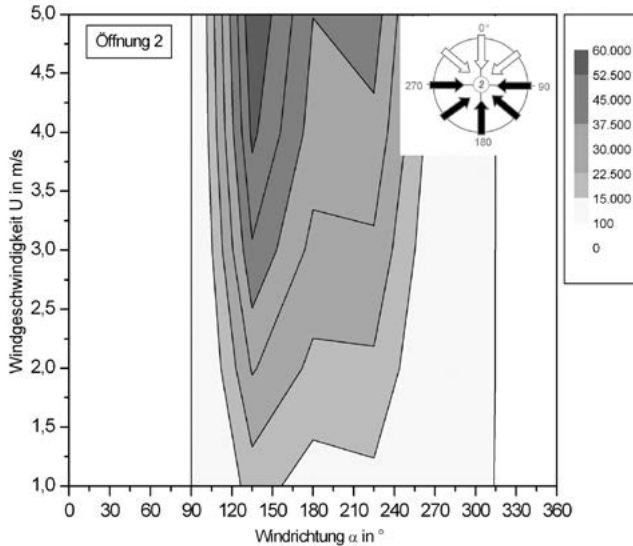


Abb. 5: Beispiel Öffnung 2. Weiß gekennzeichnet sind die Bereiche ohne, grau abgestuft die Bereiche mit Emissionen. Das Pfeilpiktogramm veranschaulicht diesen Sachverhalt. Es wirken Windanströmungen aus dem südlichen Winkelhalbkreis

Fig. 5: Example opening 2. White are the areas without and gray graded are the areas with emissions. The arrow pictogram demonstrates this actual situation. Wind directions of the southern semi circle are effective

Diese integrale Betrachtungsweise bei der Simulation dient nur dem Vergleich mit der RL VDI 3894. Wenn man schon die Emissionen an den Schnittstellen erfasst, kann man diese auch als Einzelquellen behandeln (Abb. 5) und als solche in die Ausbreitungssimulationen einbringen. Statt der allgemeinen Ausbreitungsklassenstatistik, wie sie in Gl.(1) benötigt wird, ist auf eine repräsentative Jahresstatistik (AK-Term) umzusteigen, die für jede Jahresstunde die meteorologischen Parameter für den Untersuchungsort nennt.

4 Fazit

1. Die im Liegeboxenlaufstall erzeugten Emissionen verteilen sich aufgrund der geometrischen Gegebenheiten entsprechend der Windanströmgeschwindigkeiten und Windanströmrichtungen unterschiedlich auf die Öffnungen und gelangen von dort in die Umwelt. Hiermit liegt eine konstruktionsbedingte Stalltypik im Emissionsverhalten vor.
2. Wie häufig nun Windanströmsituationen und Windanströmgeschwindigkeiten auftreten, hängt ausschließlich von der Standortmeteorologie ab.
3. Der Emissionsfaktor aus dem Offenstall ist nicht konstant, Gl.(3) kann nicht ohne Inkaufnahme immenser Fehler angewendet werden.
4. Stehen Computersimulationen im Planungsfall nicht zur Verfügung, ist das Modell DEMAP zur Datenbeschaffung anzuwenden.

Literatur

- [1] VDI 3894, Blatt 1, Entwurf: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Haltungsverfahren und Emissionen. Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, Oktober 2009.
- [2] Müller, H.-J.; Krause, K.-H.: Geruchsemissionen und -immissionen aus der Tierhaltung (Beurteilungsgrundlagen und Ableitung von Emissionsminderungsmaßnahmen). Gefördert vom BMELV, Forschungsbericht, 2002
- [3] Krause, K.-H.; Linke, S.: Emission behaviour of open stables. XXXIV CIOSTA CIGR V Conference 2011, 29.6.–1.7.2011, Wien.

Langzeitmessung zum Ausstoß umwelttoxischer und klimarelevanter Gase aus einem frei gelüfteten Milchviehstall

Long-term measurement of greenhouse gas and ammonia emissions from a cross ventilated dairy house

INGA SCHIEFLER, JESSICA HENSELER-PASSMANN, WOLFGANG BÜSCHER

Institut für Landtechnik, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität, Nußallee 5, 53115 Bonn, Deutschland

Schlüsselbegriffe: Ammoniak, Emissionen, Klimarelevante Gase, Milchviehstall

Keywords: ammonia, emissions, greenhouse gases, dairy barn

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurden über 21 Tage die Innenraumkonzentrationen von Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), Kohlendioxid (CO₂) und Ammoniak (NH₃) eines neu gebauten quergelüfteten Milchviehstalles in Deutschland untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass die Unterteilung des Stalles mittels Folienrollos in drei Segmente für den Vergleich zweier strohloser Haltungsverfahren in der Milchproduktion geeignet ist. Die Mittelwerte der Innenraumkonzentrationen von CH₄ und NH₃ lagen in dieser ersten Messreihe im Segment 1 mit planbefestigten Laufflächen niedriger als die Werte der Spaltenbodensegmente. Mithilfe dieses Versuchsaufbaus sollen zukünftig in Langzeitmessungen die Einflüsse von Fütterung, Entmistungssystem und Minderungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von jahreszeitlichen Einflüssen und der Stallbelegung untersucht werden.

Summary

In the first measurement period the indoor concentrations of methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), carbon dioxide (CO₂) and ammonia (NH₃) were measured for 21 days in a newly built cross ventilated dairy barn in Germany. As a result the division of the barn by foil partition is delivering reasonable results for the comparison between the sections and the different floor types. The mean indoor concentration of CH₄ and NH₃ of the section with solid floor was significantly lower than those of the sections with slatted floor. By this experimental set up further long-term investigations regarding the effects of animal diet, floor type and mitigation measures shall be performed considering seasonal effects as well as stocking density.

1 Einleitung

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, eine Aussage darüber treffen zu können, wie die Emissionen in der Milchviehhaltung im Hinblick auf Fütterung und Stalltechnik zukünftig gemindert werden können.

Einige Daten zu Emissionen aus der Tierhaltung, die sich auf Messungen und weiterführende Kalkulationen stützen, sind bereits in der Literatur zu finden (DEMERS et al., 2001; AMON et al., 2001; VRANKEN et al. 2004). Darüber hinaus gibt es bereits einige Untersuchungen, die verschiedene Haltungsverfahren und Stallsysteme hinsichtlich ihrer Emission untersuchen (ZHANG et al, 2005; MONTENY et al. 2006). Trotzdem besteht immer noch ein Mangel an Daten für freigelüftete Ställe, insbesondere für Querlüftung, da diese Stalltypen in der Milchviehhaltung zunehmend zum Einsatz kommt.

Die Untersuchungen werden in dem 2009 und 2010 neu errichteten Milchviehversuchsstall der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen im Landwirtschaftszentrum Haus Riswick in Kleve durchgeführt. Der Versuch ist als Langzeitmessung angesetzt, Ergebnisse der ersten Messreihe liegen nun vor.

2 Material und Methoden

Die erste Messreihe des Langzeitversuchs wurde von Dezember 2010 bis Januar 2011 über einen Zeitraum von 21 Tagen durchgeführt. Die durchschnittliche Temperatur lag in dieser Zeit bei 1,3 °C.

Der Stall

Der Stall ist mittels Folienrollos in drei gleich große, lüftungstechnisch getrennte Segmente unterteilt. Jedes der drei Segmente bietet Platz für zwei Gruppen von je 24 Milchkühen.

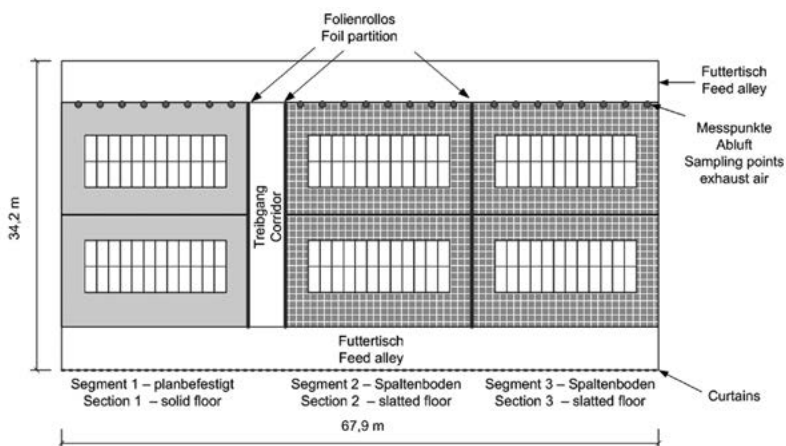


Abb. 1: Grundriss des Milchviehstalles

Fig. 1: Layout of the dairy barn

Der Stall verfügt über eine Querlüftung und zusätzlich eine optional zu öffnende Firstentlüftung. Die Firsthöhe beträgt 13 m, die Traufhöhe liegt bei 5,15 m. Die Grundfläche des Stalles über die drei Abteile beträgt 67,9 m × 34,2 m. Die Traufseiten sind offen, an einer Traufseite besteht die Möglichkeit, die gesamte Stallseite mit Curtains zu schließen. Die Futtertische sind jeweils an den Traufseiten angeordnet und verfügen über Wiegetröge mit Einzeltiererkennung (Abb. 1).

Segment 1 ist mit planbefestigten Laufflächen mit Schieberentmistung, die Segmente 2 und 3 sind mit Spaltenboden und einem Spaltenreinigungsroboter ausgestattet.

Versuchsaufbau

Im ersten Versuchsabschnitt der geplanten Langzeitmessung werden die verschiedenen Haltungsverfahren im Jahresverlauf miteinander verglichen. Für die Wintermessung wurden über einen Zeitraum von 21 Tagen die Innenraumkonzentrationen von Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), Kohlendioxid (CO₂) und Ammoniak (NH₃) in allen drei Stallsegmenten ermittelt und miteinander verglichen. Die Gaskonzentrationen wurden quasi-kontinuierlich nach der Methode der „Photoakustischen Spektroskopie“ mithilfe eines Multigasmonitors (Fa. LumaSense Technologies, Modell 1412, bestückt mit optischen Filtern) bestimmt.

Die Probenahme erfolgte an acht Messpunkten pro Stallsegment, die jeweils zu einer Sammelprobe zusammengeführt wurden. Dabei wurde die Stallluft kontinuierlich mittels einer Vakuummembranpumpe für jedes Stallsegment angesaugt und durch einen PTFE Schlauch (8 mm Innendurchmesser, 100 m Länge) zum jeweiligen Sammelbehälter weitergeleitet. Die Gasproben wurden mithilfe eines Messstellenumschalters (Fa. Lumasense Technologies, Modell 1303) nacheinander an den Gasmonitor weitergeleitet. Mit einer Saugleistung der Membranpumpe von 33 l min⁻¹ und einem Schlauchvolumen von ca. 10 l kann ein vollständiger Luftaustausch innerhalb eines Messintervalls sichergestellt werden. Bei einem Messintervall von ca. 300 s pro Stallsegment konnte daher stets eine aktuelle und repräsentative Probe der Stallluft analysiert werden.

3 Ergebnisse

Anhand der Tagesverläufe konnten deutliche Schwankungen einzelner Gaskonzentrationen festgestellt und konkreten Ereignissen im Betriebsablauf (Melken, Gülle homogenisieren) zugeordnet werden (vgl. Abb. 2). Dieser Effekt wurde vor allem bei CH₄ und CO₂ beobachtet, deren Freisetzung zu einem großen Teil direkt den Tieren zugeordnet werden kann. Die Mittelwerte der Innenraumkonzentrationen von CH₄ lagen im Segment 1 mit planbefestigten Laufflächen mit 7,77 mg m⁻³ deutlich unter den Werten der Spaltenbodensegmente 2 und 3, in denen Werte von 10,65 und 9,88 mg m⁻³ gemessen wurden. Auch bei NH₃ konnten für das Segment 1 mit 1,07 mg m⁻³ geringere Werte gegenüber 1,46 und 1,51 mg m⁻³ für die Spaltenbodensegmente 2 und 3 festgestellt werden.

Für N₂O hingegen wurden mit 0,743 mg m⁻³ vergleichbare Konzentrationen gegenüber 0,739 und 0,741 mg m⁻³ für die Segmente 2 und 3 mit Spaltenboden gemessen. Es wird davon ausgegangen, dass die Höhe der Emissionen aus den drei Stallsegmenten die gleichen Relationen aufweisen.

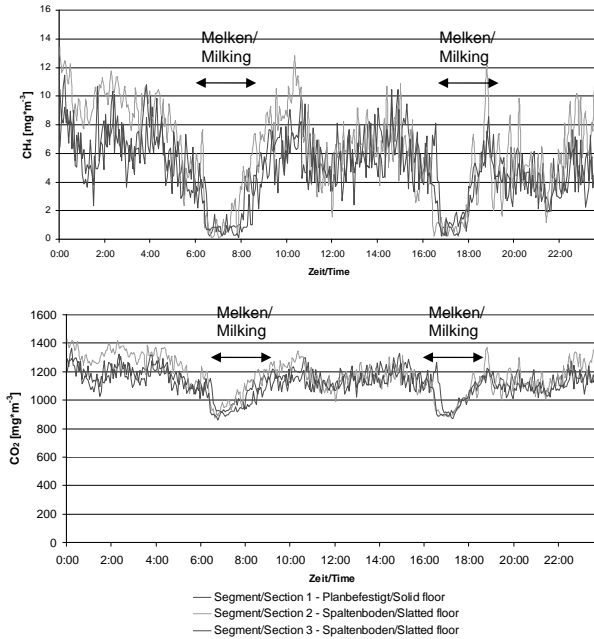


Abb. 2: CH_4 und CO_2 Innenraumkonzentrationen der Stallsegmente im Tagesverlauf
 Fig. 2: Indoor concentrations of CH_4 and CO_2 of the sections in the course of the day

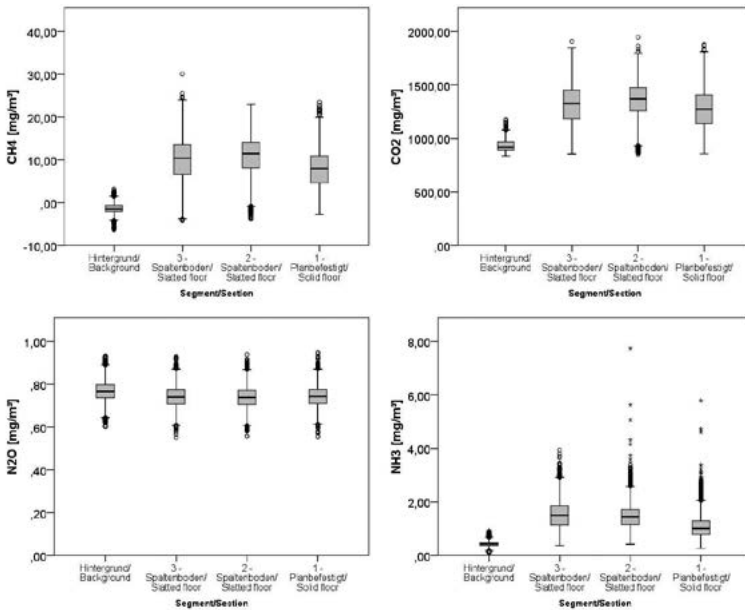


Abb. 3: Mittlere Innenraumkonzentrationen von CH_4 , CO_2 , N_2O und NH_3 in den drei Stallsegmenten
 Fig. 3: Mean indoor concentrations of CH_4 , CO_2 , N_2O and NH_3 of the three sections

4 Diskussion

Deutlich höhere Innenraumkonzentrationen von CH_4 ($49\text{--}51 \text{ mg m}^{-3}$), NH_3 ($4,5 \text{ mg m}^{-3}$) und insbesondere CO_2 ($2423\text{--}2616 \text{ mg m}^{-3}$) wurden von NGWABIE et al. 2009 während der Wintermessung festgestellt. Die niedrigeren vorliegenden Werte der eigenen Untersuchung könnten darin begründet sein, dass durch die großen offenen Stallflächen eine höhere Luftwechselrate vorliegt. Hierdurch wird eine wesentlich größere Verdünnung erreicht. Dies soll in den nächsten Versuchsabschnitten untersucht werden. Die Innenraumkonzentrationen von N_2O der eigenen Untersuchung liegen zwischen den Werten von $0,62\text{--}0,66 \text{ mg m}^{-3}$, die in einem freigelüfteten Milchviehstall mit teilweise Spaltenboden (NGWABIE et al. 2009) und Werten von $1,01 \text{ mg m}^{-3}$, die in einem Stall mit Spaltenoden gemessen wurden (JUNGBLUTH et al., 2001). Interessanterweise haben NGWABIE et al. (2009) ebenfalls höhere N_2O -Konzentrationen außerhalb des Stalles als innerhalb feststellen können (vgl. Abb. 3).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der gewählte Versuchsaufbau mit einer Aufteilung des Stalles in drei Segmente anhand von Folienrollos, die speziell für Langzeitmessungen ausgelegt wurden, für vergleichende Messungen geeignet ist. Die Messtechnik zur Bestimmung der Gaskonzentration liefert ebenfalls plausible Daten, wie durch die nachvollziehbaren Tagesverläufe der Innenraumkonzentrationen festgestellt werden konnte.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Dieser erste Teil der Studie konnte die Funktionsfähigkeit des Versuchsaufbaus für noch folgende Fragestellungen bestätigen. Sowohl die Aufteilung des Stalles in die drei Segmente, als auch die Möglichkeiten der hoch auflösenden Gasmessung bieten günstige Voraussetzungen für weitere Untersuchungen.

Es werden immer noch weitere Daten für gasförmige Emissionen von frei gelüfteten Tierställen benötigt, insbesondere Langzeiteffekte durch Fütterung und Haltung sowie Minderungsmaßnahmen sollen weiter untersucht werden. Aus diesem Grund wird der nächste Versuchsabschnitt die Einflüsse einer gras- bzw. maissilagebetonten Fütterung und die Einflüsse der Entmistung behandeln (z.B. Frequenz des Schiebers). Zusätzlich wird die Luftwechselrate anhand der Tracergasmethode bestimmt, um die Emissionsfaktoren zu ermitteln.

Literatur

- Amon, B.; Amon, T.; Boxberger, J.; Alt, C. (2001): Emissions of NH_3 , N_2O and CH_4 from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1–3), 103–113
- Berges, M. G. M.; Crutzen, P. J. (1996): Estimates of global N_2O emissions from cattle, pig and chicken manure, including a discussion of CH_4 emissions. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 24(3), 241–269

- Demmers, T. G. M.; Phillips, V. R.; Short, L. S.; Burgess, L. R.; Hoxey, R. P.; Wathes, C. M. (2001): Validation of ventilation rate measurement methods and the ammonia emission from naturally ventilated dairy and beef buildings in the United Kingdom. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(1), 107–116
- Jungbluth, T.; Hartung, E.; Brose, G. (2001): Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1–3), 133–145
- Monteny, G.-J.; Bannink, A.; Chadwick, D. (2006): Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2–3), 163–170
- Ngwabie, N. M.; Jeppsson, K.-H.; Nimmermark, S.; Swensson, C.; Gustafsson, G. (2009): Multi-location measurements of greenhouse gases and emission rates of methane and ammonia from a naturally-ventilated barn for dairy cows, *Biosystems Engineering* 103, 68–77
- Vranken, E.; Claes, S.; Hendriks, J.; Darius, P.; Berckmans, D. (2004): Intermittent measurements to determine ammonia emissions from livestock buildings, *Biosystems Engineering*, 88, 351–358
- Zhang, G.; Strom, J. S.; Li, B.; Rom, H. B.; Morsing, S.; Dahl, P.; Wang, C. (2005): Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. *Biosystems Engineering*, 92(3), 355–364

Danksagung

Wir bedanken uns für die gute Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, insbesondere mit dem Landwirtschaftszentrum Haus Riswick, wo die Messungen durchgeführt werden. Die Untersuchungen werden von der Landwirtschaftlichen Rentenbank und dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz finanziell unterstützt.

Estimation of ventilation rate and emission stream from a naturally ventilated barn using tracer gas technique

Ermittlung von Lüftungsrate und Emissionsstrom für einen frei gelüfteten Stall mithilfe der Tracergas-Methode

ALAA KIWAN¹, REINER BRUNSCH¹, WERNER BERG¹, HANS-JOACHIM MÜLLER¹,
MANFRED GLÄSER¹, MERIKE FIEDLER¹, MOHAMED SAMER¹, CHRISTIAN AMMON¹,
KRISTINA VON BOBRUTZKI¹, PETER SANFTLEBEN²

¹ Leibniz-Institute for Agricultural Engineering e.V. (ATB), Department of Engineering for Livestock Management, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

² State Institute for Agriculture and Fishery Mecklenburg-Vorpommern, Institute of Animal Production, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf

Keywords: tracer gas, krypton 85, ventilation rate, emissions, natural ventilation

Schlüsselwörter: Tracergas-Technik, Krypton 85, Lüftungsrate, Emissionen, Freie Lüftung

Summary

Naturally ventilated barns have special attention due to the considerably lower electrical energy consumption and lower sound level than mechanically ventilated barns. The determination of ventilation rate (VR) has special importance for measuring the emission stream. Especially, in the recent years more attention has been given to the ammonia emission stream to protect the environment and the people living in surrounding area. Many experiments were carried out to determine the VR in a naturally ventilated dairy barn in north Germany between 2006 and 2010. The VR was estimated according to the CO₂-mass balance as a reference method as well as using radioactive isotope Krypton 85 (⁸⁵Kr-method) as a tracer gas. The meteorological parameters like temperature, wind velocity and its direction were recorded inside and outside the barn, as well as the concentrations of ammonia (NH₃), carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) inside the barn. The reference method was compared with two different evaluation procedures for ⁸⁵Kr-method: (1) obtained value of VR from sum of impulses for all ⁸⁵Kr-sensors (sum-method), (2) average of obtained values of VR from single ⁸⁵Kr-sensors (average-method). Pearson correlation analysis was performed and linear regression models were fitted. The ⁸⁵Kr-method has generally overestimated the VR, the sum-method overestimated the VR by 1.15 ± 0.13 and the average-method overestimated the VR by 4.66 ± 1.17 compared to the reference. The emission streams according to the reference method during the summer seasons were 124, 538 and 45,600 g d⁻¹animalunit⁻¹ for NH₃, CH₄, and CO₂ respectively. During winter seasons they were 64, 348 and 42,700 g d⁻¹animalunit⁻¹.

Zusammenfassung

Frei gelüftete Ställe zeichnen sich gegenüber zwangsgelüfteten Ställen u. a. durch einen geringeren Energieverbrauch und einen niedrigeren Lärmpegel aus. Allerdings stellt bei frei gelüfteten Ställen die Ermittlung der Lüftungsraten (VR) eine größere Herausforderung dar. Sie ist aber notwendig, um die gasförmigen Emissionsströme zu bestimmen. Insbesondere die Ammoniakemissionen stehen im Fokus der Aufmerksamkeit, um mit Möglichkeiten der Reduktion Umwelt und Mensch zu schützen.

Eine Reihe von Untersuchungen wurde in einem frei gelüfteten Milchviehstall im Norden von Deutschland durchgeführt. Die VR wurden anhand der CO₂-Bilanzierung als Referenzmethode sowie mithilfe des radioaktiven Isotops Krypton 85 (⁸⁵Kr-Methode) als Tracer gas ermittelt. Die meteorologischen Größen wie Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurden inner- und außerhalb des Stalls erfasst, außerdem die Konzentrationen von Ammoniak (NH₃), Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄). Die CO₂-Methode wurde mit zwei verschiedenen Auswertungsverfahren für die ⁸⁵Kr-Methode verglichen: (1) Kalkulation von VR anhand der Summe der Impulse aller einzelnen Sensoren an den verschiedenen Messstellen (Summen-Methode), (2) Kalkulation von VR anhand der Mittelwerte der einzelnen Sensoren (Mittelwert-Methode). Die Daten wurden mit der Pearson-Korrelationsanalyse und linearen Regressionsmodellen ausgewertet. Im Vergleich zur CO₂-Methode überschätzen die mit der Tracer gas-Methode gewonnenen Werte die VR, bei der Summen-Methode um das $1,15 \pm 0,13$ -fache und bei der Mittelwert-Methode um das $4,66 \pm 1,17$ -fache. Die mithilfe der CO₂-Methode kalkulierten Emissionsströme betragen im Sommer 124, 538 und 45 600 g d⁻¹ GV⁻¹, jeweils für die Gase NH₃, CH₄ und CO₂, im Winter betragen sie 64, 348 und 42 700 g d⁻¹ GV⁻¹.

1 Introduction

Naturally ventilated barns have special attention due to possibility of considerably lower energy consumption and also a much lower noise level than a mechanically ventilated barn. Hence this type of barns has gained wide acceptance worldwide. The inside climate is mainly influenced by ventilation process (ALBRIGHT, 1990; HELLICKSON and WALKER, 1983; AMON et al., 2006; MÜLLER et al., 1998b). Good inside climate reduces the risk of respiratory diseases and insures animal welfare (BROCKETT and ALBRIGHT, 1987).

Ventilation rate (VR) measurements are necessary for the calculation of emission streams and have special importance for quantification of NH₃ emissions, which are strongly connected with ventilation process. Attention has been focused on ammonia emission streams from agricultural buildings in order to protect the environment and the people living in the surrounding area.

The meteorological conditions vary over the day, and they largely influence the VR in naturally ventilated barns. Many studies have been carried out with respect to controlling the internal environment of mechanically ventilated livestock barns. But the research efforts regarding the control of inside climate for naturally ventilated barns are still urgent due to uncertainty in VR estimation. The VR measurement is still a difficult task due to nonstability of outside meteorological conditions, especially wind speed

and wind direction (AMON et al., 2006; KECK et al., 2006; ALBRIGHT, 1990; HELICKSON and WALKER, 1983). VR can be indirectly estimated within naturally ventilated barns using tracer gas technique. Carbon dioxide (CO₂) can be used as tracer gas (KITAS et al., 1996), also artificial gas as sulphur hexafluoride (SF₆) (SEIPELT et al., 1999; SNELL et al., 2003) or radioactive isotope Krypton (⁸⁵Kr) (MÜLLER et al., 1998a; MÜLLER et al., 1998b). Tracer gas technique is based on the assumption of completely mixing of tracer gas with the air inside the barn. But in field experience, completely well mixed air spaces are rarely found in naturally ventilated barns and it is difficult to achieve uniform distribution of tracer gas. These investigations shall contribute to improve tracer gas technique using ⁸⁵Kr including the procedure of data evaluation.

2 Measurement methods

In this study the VR is estimated with two methods. The first one is the CO₂-Mass balance model, which is taken as a reference. The second one is the concentration decay of radioactive tracer gas ⁸⁵Kr with applying two different evaluation procedures.

2.1 Carbon dioxide Mass balance model

The Carbon dioxide mass balance model (CO₂-model) is widely used to estimate the VR throughout the naturally ventilated buildings (ALBRIGHT, 1990; DIN 18910-1, 2004; HELICKSON and WALKER, 1983; KITAS et al., 1996). The VR throughout the barn is estimated according to equation (1) assuming ideal mixing of the air inside the barn.

$$V = P * (C_{in} - C_{out})^{-1} = P * \Delta C^{-1} \rightarrow \text{Equation(1)}$$

Where V (m³h⁻¹) is the VR, P (gh⁻¹) is the production rate of CO₂ in the barn; C_{in} (gm⁻³) and C_{out} (gm⁻³) are the concentrations of gas inside and outside the barn structure respectively. The gas concentrations vary inside the barn and change over time; therefore continuous measurements at different places inside the dairy barn have to be done. CO₂-model offers an alternative for estimating VR. The reliability of this balance model depends on the validity of relationship between CO₂-production and metabolic rate of the animals. The CO₂-production rate was calculated in this study according to the recommended model in literature (DIN 18910-1, 2004; CIGR, 1984; CIGR, 2002). The heat production for milk yield, pregnancy and life maintenance were taken into account, as well as the animal mass, temperature correction factor and numbers of days after insemination were also considered in this model. The different animal activities over the day lead to diurnal variation in the metabolic heat production, which consequently leads to diurnal variation in the emitted amount of CO₂ from the cows. For this reason, the CO₂-measurements should be done over a period of 24 hours at least. However, there is no widely accepted formula for predicting this diurnal variation of CO₂-production. Most of CO₂-production is emitted by the animals in the respiration. It can also be a part of exhaust gases from heating systems, which is not the case in the investigated barn. In addition a small portion is released by the slurry. In the literature it was considered

that 4 % of total CO₂-production came from the slurry (VAN QUWERKERK and PEDERSEN, 1994). Therefore the CO₂-production from the urine and dung has mostly been neglected in the mass balance models.

2.2 Concentration decay of radioactive tracer gas ⁸⁵Kr

Artificial tracer gases are used for a wide variety of diagnostic techniques including leak detection and atmospheric tracing (SHERMAN, 1989). In many cases the tracer gas techniques are the only way of making quantitative measurements of ventilation. These include infiltration, VR measurements, fume hood efficiencies, and spreading of pollutants. In other cases tracer gas analysis methods are chosen in preference to other analysis methods because they are more convenient and more accurate (PETER et al., 1991). A very important aspect of tracer gas technique is the possibility to test occupied buildings. This is not only more convenient but is also more accurate since it takes into account the large effect of occupancy on the VR. The tracer gas should not be toxic or hazardous under used concentration, easy to measure, low and stable background level, low price and similar to air properties.

The basic principle of tracer gas technique is to release a known amount of tracer gas and to monitor its concentration at downwind points. Generally, there are three known tracer gas methods as following: 1. Constant tracer gas injection. 2. Variable tracer gas injection. 3. Concentration decay. The best evaluation method for tracer gas ⁸⁵Kr in livestock barns is concentration decay. The reasons are many, e.g. the necessary amount of radioactive gas, building size, environment requirements and costs. Using this technique the ⁸⁵Kr should be injected in the investigated barn. With knowledge about how the tracer gas varies with time and in space gives information about total and local VR. Two different evaluation procedures for ⁸⁵Kr-method were compared with the reference method and they were: (1) obtained value of VR from sum of impulses for all ⁸⁵Kr-sensors (sum-method), (2) average of obtained values of VR from single ⁸⁵Kr-sensors (average-method).

2.3 The investigated barn

The experiments were carried out in a naturally ventilated dairy barn in north Germany. Figure 1 shows the horizontal plan of the investigated barn.

The investigated barn has loose housing system with freestalls and adjustable curtain at the side walls. It was 96.2 m long, 34.2 m wide, 4.2 m height at the side wall and 10.7 m height at the gable top with a volume of 25,500 m³. It was constructed with steel roof without heat insulation materials and with constantly opened ridge slot at the top. The gable walls had five service openings with roll doors in each side. The western gable was woody space board wall. Manure removal was done by using V-scrappers. The barn was equipped with three additional distributor ceiling fans over the feeding line, which had a diameter of 7.2 m with a maximum discharge of 546,000 m³h⁻¹.

The gas concentrations of CO₂, NH₃, H₂O and CH₄ were measured using an infrared photo-acoustic analyser with twelve measuring tubes (INNOVA 1312, Innova AirTech Instruments, Ballerup, Denmark) over two weeks for each measuring period. The measurements took place in a continuous sequence from measuring point one sequent to measuring point twelve. In this way data were gathered from each sampling point in

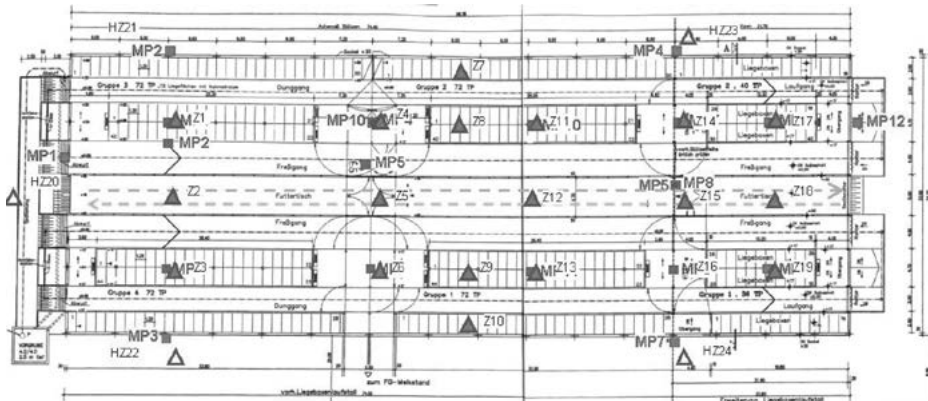


Fig. 1: horizontal plan of experimental barn with ^{85}Kr sensors locations (Δ)
 Abb. 1: Grundriss des Versuchsstalles mit Anordnung (Δ) der ^{85}Kr Sensoren

intervals of about 12 minutes (approximately 1 minute per sampling point). Eight sampling points were uniformly selected inside the barn. As well as, a new procedure was done to optimize the sampling process outside the barn according to wind direction. Many sampling points were installed around the barn to measure the CO_2 -concentration in the fresh air at the windward side of the barn. The concentration of CO_2 in fresh air at windward side of the barn was taken as a background concentration of the incoming air. ^{85}Kr was injected as fast as possible over the feeding line in the barn. Therewith, twenty sensors were detecting the impulses of radioactive isotope ^{85}Kr , each measuring point can deliver a probable value for VR. The triangles in figure 1 represent the location of ^{85}Kr sensors. The squares represent the location of gas sampling points. Temperature and relative humidity measurements were carried out using Rotronic sensors at four points inside the barn and at one point outside the barn. The data were gathered every minute in order to document the indoor environment of the barn. Internal temperature data were also used for the calculations of the heat production of the animals.

3 Results and discussion

Concentration decay of ^{85}Kr showed strong variations of the decay functions at different measuring points. The main reason for this fluctuation is the air movement inside the barn. High air velocities cause a faster dilution of the tracer gas concentration within the barn than low air velocities. In other words, the decay behaviour becomes highly variable at each measuring point due to the airflow pattern. Additionally, the dosing procedure has a great influence on distribution of the tracer gas. A few sensors had clear regressions on the obtained impulse curve and only those sensors could deliver probable values for local VR at different times during the experiments. The delivered values showed strong variations according to the sensor location and they may represent a local vortex at each sensor location during the interval of regression. These phenomena

agreed with the laboratory study of VAN BUGGENHOUT et al. (2009). They found that large variations in VR are present depending on the sampling position and due to non-perfect mixing between the tracer gas and the air. Otherwise, the measurement errors can rise to 86 % of the actual ventilation rate and the sampling positions nearby the air outlets showed the lowest errors. Therefore, the estimated values for local VR from single sensors as well as the average of them do not represent the situation of the whole barn. A new evaluation procedure was performed by taking the sum of impulses for all sensors as dependent variable on time. The obtained decay curve for sum of impulses mostly showed clear regressions with more stability and fewer fluctuations than the single sensors; at least it could deliver probable values for VR for all experiments (KIWAN et al., 2010). Figure 2 shows an example for estimated VR values according to two evaluation procedures as well as the reference method.

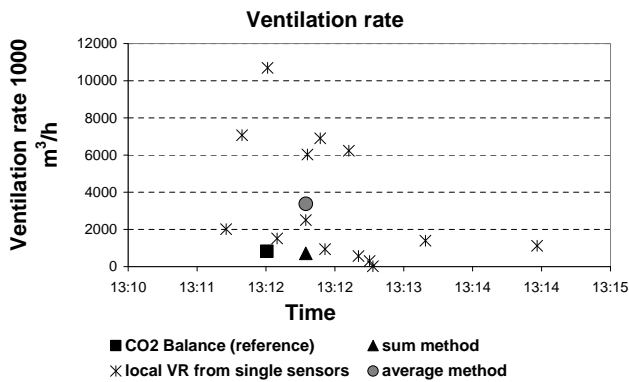


Fig. 2: Example for estimated VR values according to the two evaluation procedures for tracer gas technique as well as the reference method

Abb. 2: Exemplarische Schätzwerte für den, mit den beiden Berechnungsmethoden und mit der Referenzmethode, ermittelten Volumenstrom

The sum-method has taken into account all raw data and better regressions in impulse curves were found for all experiments. Therefore, the sum of impulses for all sensors can represent the general conditions in the barn. Table 1 shows the results of the correlation analysis with the associated ρ -values.

Tab. 1: Results of the correlation analysis
Tab. 1: Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Comparison between applied evaluation procedures		Pearson Correlation Coefficient Prob > r under H0: Rho = 0	Associated ρ -value
Sum-method	CO ₂ mass method	0.53194	0.0412
Average-method	CO ₂ mass method	0.39478	0.1453

The sum-method showed better linear correlation with the reference ($\rho < 0.05$) than the average-method ($\rho = 0.15$). The sum-method overestimated the VR only by 1.15 ± 0.13 ($R^2 = 0.85$), while the average-method strongly overestimated the VR by 4.66 ± 1.17 with lower R-square ($R^2 = 0.53$) compared with the reference. Table 2 shows the results of the regression analysis without applying any intercept.

Tab. 2 Results of the regression analysis
Tab. 2: Ergebnisse der Regressionsanalyse

Comparison of two applied evaluation procedures with the reference		R-Square	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Sum-method	CO ₂ mass method	0.8525	1	1.14774	0.1276	9.00	< 0.0001
Average-method	CO ₂ mass method	0.5325	1	4.65521	1.16570	3.99	0.0013

The results outlined that the sum-method increased the effectiveness of evaluation procedure for ⁸⁵Kr-data, because it only considers the amount of ⁸⁵Kr that is remaining inside the barn over the experiment time. The average-method reflected the high variance between obtained values of local VR from single sensors. This can be explained by the effect airflow pattern on the ⁸⁵Kr distribution within the barn.

During the summer season, the emissions streams according to the reference method were 124, 538 and 45,600 g d⁻¹ animalunit⁻¹ for NH₃, CH₄, and CO₂ respectively, during the winter season they amount 64, 348 and 42,700 g d⁻¹ animalunit⁻¹. ZHANG et al. (2005) came to similar results, for a similar building they estimated the highest emission stream with 75 and 495 g d⁻¹ animalunit⁻¹ with standard deviation of 15 and 63 g d⁻¹ animalunit⁻¹ for NH₃ and CH₄ respectively. They mentioned that the NH₃ stream increased from about 10 to 30 g d⁻¹ animalunit⁻¹ as the temperature increased from 2 to 20 °C. SNELL et al. (2003) estimated the emission streams during the winter seasons from different naturally ventilated barns, the barns were smaller than the investigated barn in this study and accommodated smaller number of cows and heifers. The emission streams were between 39 and 85 g d⁻¹ animalunit⁻¹ for NH₃ and between 267 and 782 for CH₄.

4 Conclusions

According to the statistical analysis, the evaluation procedure using the sum-method for all ⁸⁵Kr-sensors delivered results very similar to the reference (CO₂-method). While, the evaluation procedure using the average-method delivered much higher values for VR, it overestimated it by more than 4 times compared to the reference.

Tracer gas technique using ⁸⁵Kr is a promising method and it need to be further developed by applying new injection procedures to enhance the mixing process. The distribution of ⁸⁵Kr sensors should be further investigated.

References

- Albright, L. D. (1990): Environment Control for Animals and Plants. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA
- Amon, B., M. Fröhlich (2006): Ammoniakemissionen aus frei gelüfteten Ställen Wirtschaftsdüngerlagerstätten für Rinder, in German (Ammonia emissions from naturally ventilated barns for cattle manure storage). KTBL-Schrift, 449, 49–64
- Brockett B. L.; Albright, T. D. (1987): Natural ventilation in single airspace buildings. Journal of agricultural Engineering Research, 37, 141–154
- CIGR (2002): Climatisation of animal houses. S. Pedersen and K. Sallvik, eds. Working Group Report on: Heat and moisture production at animal and house level. Published by DIAS, Denmark, ISBN 87-88976-60-2
- CIGR (1984): Climatisation of animal houses. Report of working group on climatisation of animal houses, International Commission of Agricultural Engineering. Scotland
- DIN 18910-1 (2004): Thermal insulation for closed livestock buildings- Thermal insulation and ventilation forced – Part 1: Principles for planning and design for closed ventilated livestock buildings. Normenausschuss Bauwesen im DIN, Beuth Verlag, Berlin
- Hellickson, M. A.; Walker, J. N. (1983): Ventilation of agricultural structures. ASAE. ISBN: 0-916150-56-9
- Kittas, C.; Boulard, T.; Mermier, M.; Papadakis, G. (1996): Wind induced air exchange rate in a greenhouse tunnel with continuous side openings. Journal of Agricultural Engineering Research, 65(1): 37–49
- Kiwan, A.; Brunsch, R.; Özcan, S. E.; Berg, W.; Berckmans, D. (2010): Tracer gas technique in comparison with other techniques for VR measurements through naturally ventilated barns. . In Proc. of XVII CIGR World Congress, 79. P. Savoie, J. Villeneuve, and R. Morissette, eds. Quebec City, Canada: The Canadian Society for Bioengineering (CSBE)
- Müller, H. J.; Möller, B. (1998a): The determination of emission streams at different animal houses. In: AgEng Oslo 98, EurAgEng, 1–7
- Müller, H. J.; Möller, B. (1998b): The further development of air exchange measurement techniques using tracer gases. Landtechnik, 53(5), 326–327
- Keck, M.; Schrade, S.; Zähler, M. (2006): Minderungsmaßnahmen in der Milchviehhaltung, in German (Mitigation measures in the dairy farming). KTBL-Schrift (449): 211–227
- Peter W.; Grieve, M. Sc.; Brüel u. Kjær (1991): Measuring ventilation using tracer gases Booklet of the Environmental Group, Brüel & Kjær, Denmark
- Seipelt, F.; Ross, A.; Steffen, G.; van den Weghe, H. (1999): Quantifizierung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mittels Tracergaseinsatz nach der Abklümmethode. International Conference of Construction Engineering and Environment in Livestock Farming. Freising-Weihenstephan, Germany, 69–74
- Sherman, M. H. (1989): On estimation of multizone VRs from tracer gas measurements. Building and Environment, 24(4), 355–362
- Snell, H. G. J.; Seipelt, F.; van den Weghe, H. (2003): Ventilation rates and gaseous emissions from naturally ventilated dairy houses. Biosystems Engineering, 86(1): 67–73

- van Buggenhout, S.; Van Brecht, A.; Özcan, S. E.; Vranken, E.; Van Malcot, W.; Berckmans, D. (2009). Influence of sampling positions on accuracy of tracer gas measurements in ventilated spaces. *Biosystems Engineering* 104(2009): 216–223
- van Quwerkerk, E. N. J.; Pedersen, S. (1994): Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate VRs in livestock buildings. *Proceedings of XII CIGR World Congress on Agricultural Engineering, Milan, Italy, vol. 1, 516–552*
- Zhang, G.; Strøm, J. S.; Li, B.; Rom, H. B.; Morsing, S.; Dahl, P.; Wang, C. (2005) : Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. *Biosystems Engineering* (2005) 92(3): 355–364

Ammoniakemissionsfaktoren und Minderungsmöglichkeiten im deutschen landwirtschaftlichen Emissionsinventar – Milchvieh, Mastschweine, Legehennen

Ammonia emission factors and abatement measures in the German agricultural emission inventory – dairy cattle, fattening pigs, laying hens

BRIGITTE EURICH-MENDEN¹, HELMUT DÖHLER¹, HERMAN VAN DEN WEGHE²

¹ KTBL, Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt

² Abteilung Verfahrenstechnik des Departments für Nutztierwissenschaften der Universität Göttingen, Universitätsstr. 7, 49377 Vechna

Schlüsselwörter: Ammoniakemission, Emissionsfaktoren, Minderungsmaßnahmen, Milchkühe, Mastschweine, Legehennen

Keywords: ammonia emission, abatement measures, dairy cows, fattening pigs, laying hens

Zusammenfassung

Die jährliche Emissionsberichterstattung für Ammoniak der deutschen Landwirtschaft ist ein wichtiger Bestandteil internationaler Vereinbarungen und wird vom Institut für Agrarrelevante Klimaforschung des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI), Braunschweig, in enger Zusammenarbeit mit dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, erstellt.

Wichtige Voraussetzung für die Erstellung dieser Inventare ist die Kenntnis über die Anzahl der Quellen und die emittierten Mengen. Im Bereich der Tierhaltung sind hierzu die Angaben über die Tierzahlen und die Emissionsmengen pro Tierplatz notwendig. In diesem Beitrag werden die aktualisierten Emissionsfaktoren und Minderungspotenziale für den Bereich der Milchvieh-, Mastschweine- und Legehennenhaltung vorgestellt.

Summary

The annual emissions report covering ammonia within German agriculture represents an important component of international agreements and is produced by the Institute of Agricultural Climate Research of the Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Braunschweig, in close cooperation with the Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL), Darmstadt.

Important prerequisites for the preparation of these inventories comprise information on the number of sources and the amounts emitted. Necessary within the animal husbandry sector in this context is information on livestock numbers and the amount of emissions per animal place. Presented in this report are the updated emission factors for the dairy cattle sector, fattening pigs and laying hens.

1 Einleitung

Das erste landwirtschaftliche Emissionsinventar für Deutschland wurde zwischen 1999 und 2001 gemeinsam von FAL, KTBL und ATB veröffentlicht (DÖHLER et al., 2002). Eine Kurzbeschreibung zur Emissionsinventarerstellung ist in DÄMMGEN et al. (2008) beschrieben; die aktuelle und detaillierte Dokumentation über die Erstellung des deutschen landwirtschaftlichen Emissionsinventars findet sich in RÖSEMANN et al. (2011).

In den Modellen, die für die Emissionsberechnung verwendet werden, sind u. a. in der Tierhaltung die Tierzahlen und die Menge an Emissionen pro Tierplatz wichtige Kenngrößen. Die zurzeit im Inventar verwendeten Emissionen pro Tierplatz, so genannte Emissionsfaktoren, wurden im Jahre 2000 von einer KTBL-Arbeitsgruppe zusammengestellt und in Döhler et al. (2002) dokumentiert. Die Emissionsfaktoren stellen hierbei die spezifischen Ammoniakverluste im jeweiligen Stallsystem dar und werden in kg NH₃-N pro Tierplatz und Jahr angegeben.

Um die Ergebnisse neuerer Emissionsmessungen oder aber auch die Entwicklung neuer Haltungsverfahren in der Emissionsberechnung berücksichtigen zu können, werden die verwendeten Emissionsfaktoren und auch die Haltungsverfahren im Inventar in regelmäßigen Abständen überprüft. Die Überprüfung der Ammoniakemissionsfaktoren und weiterer Minderungsmaßnahmen hat erneut die KTBL-Arbeitsgruppe „Emissionsfaktoren Tierhaltung“¹⁾ übernommen.

2 Vorgehensweise

Schwerpunkte der Überprüfung bildeten die beiden Hauptquellgruppen Milchvieh und Mastschweine, da diese im Bereich der Tierhaltung die höchsten Ammoniakemissionen verursachen. Im Bereich der Geflügelhaltung werden aufgrund neuer Haltungssysteme neue Emissionsfaktoren benötigt, die ebenfalls von der Arbeitsgruppe zusammengestellt wurden. Die Emissionsfaktoren beziehen sich nur auf das Haltungsverfahren im Stall und berücksichtigen keine Emissionen aus den Bereichen der Lagerung oder der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern.

Anhand einer Literaturrecherche (national und international) wurden die Emissionsdaten zahlreicher Forschungsarbeiten ausgewertet und die Ergebnisse als Emissionsfaktoren pro Tierplatz und Jahr zusammengefasst. Die Experten überprüften die Emissionsdaten hinsichtlich ihrer Qualität und leiteten hieraus die Emissionsfaktoren für die Haltungsverfahren ab. In die Beurteilung der Emissionsdaten wurden nur die Ergebnisse einbezogen, die eine direkte Zuordnung zu den Haltungsverfahren zuließen. Eine weitere Differenzierung der hochaggregierten Emissionsfaktoren scheiterte daran, dass es sich vielfach um multifaktorielle Effekte handelt, die oft nicht einem spezifischen einzelnen Einflussfaktor zugeordnet werden können. Die mittleren Emissionsfaktoren decken zudem ein weites Spektrum an standortspezifischen, meteorologischen, lüftungstechnischen und management-technischen Varianten ab.

¹⁾ Mitglieder der KTBL-Arbeitsgruppe „Emissionsfaktoren Tierhaltung“ sind: Dr. Barbara Amon, Dr. Werner Berg, Dr. Eva Gallmann, Dr. Hans-Dieter Haenel, Prof. Dr. Eberhard Hartung, Thomas Heidenreich, Dr. Margret Keck, Dr. Stefan Nesor, Prof. Dr. Jens Seedorf und Prof. Dr. Ir. Herman F. A. Van den Weghe

Insgesamt basiert die Zusammenstellung der Emissionsfaktoren auf einer Expertenschätzung und nicht auf einer rechnerischen Ermittlung. Eine ähnliche Vorgehensweise erfolgte hinsichtlich der Emissionsminderungsmaßnahmen. Auch diese wurden nach Durchsicht der Literatur auf Qualität und Angabe zur Wirksamkeit beurteilt. Als Hilfestellung hierfür diente das von einer UNECE-Arbeitsgruppe erstellte Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia (UNECE, 2007) in dem zahlreiche Minderungsmaßnahmen beschrieben und die Beurteilungskategorien erläutert sind.

Milchkühe

Die Ammoniakemissionsfaktoren in der Milchviehhaltung haben sich gegenüber dem Jahr 2000 nicht geändert. Die Haltungsverfahren werden weiterhin in Anbinde- und Laufstallhaltung mit sowohl Fest- als auch Flüssigmist unterschieden. Bei der Anbindehaltung wird von geschlossenen Ställen, bei der Laufstallhaltung von frei gelüfteten Ställen ausgegangen. Die Zusammenstellung der Emissionsfaktoren befindet sich in EURICH-MENDEN et al. (2010).

Emissionsminderungsmaßnahmen werden für die Prognose von Minderungspotenzialen benötigt. Diese werden im regelmäßigen Abstand von 5 Jahren erstellt, für die nationale Politikberatung sind Prognosen im jährlichen Abstand erforderlich.

Tabelle 1 stellt ausgewählte Emissionsminderungsmaßnahmen in der Milchvieh- bzw. für die Rinderhaltung dar. Für die Bewertung der Maßnahmen werden 3 Kategorien unterschieden:

Kategorie 1: Es besteht ein nachgewiesener Emissionsminderungseffekt. Die Minderungsmaßnahme ist praxistauglich und gut zu kontrollieren.

Kategorie 2: Die Minderungswirkung der Maßnahme ist zwar im Praxismaßstab nachgewiesen, aber nicht einfach zu kontrollieren.

Kategorie 3: Emissionsminderungspotenzial vorhanden, Reduktionspotenzial aber nicht festlegbar und/oder einer der nachfolgend genannten Punkte trifft zu:

- Die emissionsmindernde Wirkung ist nicht immer nachweisbar bzw. unzureichend nachgewiesen.
- Die Umsetzung in die Praxis erscheint wenig realistisch.
- Die Kosten der Maßnahme sind zu hoch.
- Es können unerwünschte Nebeneffekte auftreten.

Als eine der wichtigsten Maßnahmen wird die bedarfsgerechte Fütterung herausgestellt, da diese zu geringeren N-Ausscheidungen führt und hierdurch das Emissionspotenzial gesenkt wird. Auch die Weidehaltung stellt im Rinderbereich eine Emissionsminderungsmaßnahme dar. Durch das rasche Einsickern des Harns in den Boden werden die Umsetzung des Harnstoffs und die nachfolgende Bildung von Ammoniak verringert. Bei einem Stall/Weide-System sind die Minderungseffekte durch die Weide erst ab einer Weidedauer von mehr als 6 Stunden gegeben, da der Stall weiterhin als Emissionsquelle gilt. Erst nach Abtrocknen der Laufflächen im Stall kann von einer geringeren Emission ausgegangen werden.

Der Einsatz von Ureaseinhibitoren bietet ebenfalls ein Emissionsminderungspotenzial, allerdings fehlt es hier noch an der Umsetzungsmöglichkeiten in die Praxis und auch die Kosten werden derzeit als deutlich zu hoch eingeschätzt.

Tab. 1: Ausgewählte Minderungspotenziale für Ammoniakemissionen verschiedener Maßnahmen in Milchvieh- bzw. Rinderställen bezogen auf die Emissionsfaktoren (Stand: Februar 2010)

Tab. 1: Reduction for ammonia emission of several abatement measures in dairy cow/cattle housings related to the emission factors, February 2010

Maßnahme	Reduktionspotenzial %	Anmerkungen	Kategorie
Bedarfsgerechte Fütterung - nach nXP-Bedarf füttern - positive ruminale Stickstoffbilanz (RNB) bei Grasprodukten usw. ausgleichen - mikrobielle Stickstoff-Ausnutzung verbessern - Start in die Laktation optimieren, - Energieversorgung der Mikroben verbessern - Synchronisation von Energie und Protein - Einsatz „geschützter“ Proteine	Bis 25	Gut kontrollierbar durch Harnstoffgehalt in der Milch. Die Minderungsmöglichkeiten sind bei niedriger Proteinversorgung aus der Grundration (Maissilage, Pressschnitzelsilage usw.) geringer.	1
Bauliche Ausführung der Laufflächen	Bis 20	Plan befestigt mit 3 % Gefälle zur Gangmitte und einer Rinne am tiefsten Punkt zur Harnableitung und optimierte Entmistung	2
		Plan befestigter Boden mit Rinnen und Löchern in den darunter liegenden Flüssigmistkanal, kammartiger Schrapper, dadurch schnelle Trennung von Kot und Harn, mehrmaliges Abschieben am Tag	3
Weide	Bis 15	Nur bei mind. 6 Stunden Weidehaltung, Stall weiterhin Emissionsquelle; führt insgesamt zu geringeren Ammoniakemissionen, Verlagerung des N auf Weide → ausreichende Flächen zur Verfügung stellen	2
Spülen der Laufflächen mit Wasser	Bis 20	Ungünstige Einstufung aufgrund hohen Wasserverbrauchs, höhere Kosten auch bei Lagerung und Ausbringung, Wassereinsatz auf max. 20 l TP ⁻¹ d ⁻¹ begrenzen	3
Säurezusätze zu Flüssigmist	Bis 40	Hohe Kosten bei Zugabe von organischen Säuren; anorganische Säuren: erhöhte Risiken bei Handhabung, erhöhte Kosten durch Korrosion	3
Anwendung von Ureaseinhibitoren	Reduktionspotenzial nicht festlegbar	Minderungspotenzial vorhanden; technische Umsetzung in die Praxis ist noch nicht eingeführt, Verteilung noch in der Entwicklung; Kosten derzeit noch sehr hoch; gesundheits-/umwelttechnisch geprüft	3

Mastschweine

Nach Einschätzung der Arbeitsgruppe haben sich die Haltungsverfahren in der Mastschweinehaltung seit dem Jahre 2000 nicht verändert. Auch liegen derzeit keine Forschungsergebnisse vor, die eine veränderte Festlegung der Emissionsfaktoren für diese Haltungsverfahren begründen könnten (EURICH-MENDEN et al., 2011).

Ebenso wie in der Milchviehhaltung werden für die Prognose zukünftiger Emissionen Maßnahmen und Minderungspotenziale in der Mastschweinehaltung benötigt. Tabelle 2 stellt ausgewählte Maßnahmen in der Mastschweinehaltung dar. Für die Bewertung der Minderungsmaßnahmen werden die gleichen Kategorien unterschieden wie in der Rinderhaltung.

Die wichtigste Minderungsmaßnahme in der Mastschweinehaltung ist nach wie vor die Rohprotein-angepasste Fütterung. Durch eine gezielte Stickstoffaufnahme lassen sich zwischen 10 und 40 % der Emissionen potenziell einsparen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Anpassung in dem angemarkten Rahmen liegt. Bei der Multiphasenfütterung mit Aminosäureausgleich wird hierbei eine tägliche Anpassung der Ration unterstellt. Auch müssen die technischen Voraussetzungen zur Durchführung einer Mehrphasenfütterung gegeben sein.

Abweichend von UNECE (2007) wurde die Abluftreinigung in Deutschland aufgrund der hohen Kosten in Kategorie 3 eingestuft.

Tab. 2: Ausgewählte Minderungspotenziale zur Reduzierung von Ammoniakemissionen in der Mastschweinehaltung bezogen auf die Emissionsfaktoren (Stand: April 2010)

Tab. 2: Reduction for ammonia emission of several abatement measures for fattening pigs related to the emission factors, April 2010

Maßnahme	Reduktionspotenzial %	Anmerkungen	Kategorie
Referenz: Einphasenfütterung: 18 % Rohprotein-angepasste Fütterung durch:			
- Phasenfütterung (2 Phasen)	Bis 10	Anpassung von Vor- auf Hauptmast (von 18 auf 15 % Rohprotein (RP))	1
- Mehrphasenfütterung (3-4 Phasen)	Bis 20	Anpassung in mehrwöchigen Abständen (von 18 auf 13 % RP); Ausgleich essentieller Aminosäuren (Lysin, Methionin);	1
- Multiphasenfütterung plus Aminosäureausgleich	Bis 40	Tägliche Anpassung (von 18 auf 13 % RP); Ausgleich essentieller Aminosäuren (Lysin, Methionin)	3
Zuluftkühlung	Bis 10	U. a. durch Einsatz eines Erdwärmetauschers; in Abhängigkeit von Standort und ΔT ; nur im Sommer bei einer Außenlufttemperatur von über 25 °C	1
Reduzierung der emittierenden Oberfläche/Bodengestaltung	Bis 10 Ferkelaufzucht	Nur in der Ferkelaufzucht machbar; z. B. plan befestigter, konvexer bzw. geneigter Boden mit Harrinnen oder anderen Ableitungseinrichtungen, Trennung der Funktionsbereiche	3

Fortsetzung nächste Seite

Maßnahme	Reduktionspotenzial %	Anmerkungen	Kategorie
Abluftreinigung (DLG-zertifizierte Anlagen; chemischer Wäscher, Rieselbettreaktor, 2- und 3-stufige Verfahren)	70–90	Mit sehr hohen Kosten verbunden	3 ¹⁾
Futterzusätze/Futterkomponenten z. B. zur Reduzierung des pH-Wertes im Urin, Verbesserung der N-Ausnutzung	Reduktionspotenzial nicht festlegbar	EU-rechtliche Vorgaben zur Zugabe in Futtermitteln müssen gewährleistet sein; mit Zusatzkosten verbunden	3
Säurezugabe Flüssigmist	Reduktionspotenzial nicht festlegbar	Hohe Kosten, Risiken bei der Handhabung, Korrosion kann auftreten	3
Optimierung der Luftführung im Stall	Reduktionspotenzial nicht festlegbar	Minimierung der Konzentrationsgradienten im bodennahen Bereich des Stalles	3

¹⁾ Abweichung zu UNECE-Guidance document (2007): dort Einstufung der Abluftreinigung in Kategorie 1. Aufgrund der hohen Kosten wird die Abluftreinigung in Deutschland von der Arbeitsgruppe in Kategorie 3 eingestuft.

Legehennen

Nach Sichtung der Literatur und neuen Messergebnissen werden die Legehennenhaltungsverfahren und die Emissionsfaktoren neu zusammengestellt. Auf die Angabe von Emissionsfaktoren zur bisherigen Käfighaltung wird verzichtet, da diese in Deutschland nicht mehr zur Anwendung kommt. Betrachtet werden nur Emissionen aus dem Stall einschließlich Kaltscharrraum, das Kotlager wird nicht berücksichtigt. Es wird von einer entsprechenden trockenen Bewirtschaftung ausgegangen. Bei Auslaufnutzung (Boden- oder Volierenhaltung plus Auslauf) erhöht sich der Emissionsfaktor um 10 %.

Bei der Volierenhaltung werden in Deutschland kompakte, geschlossene Systeme und offene Systeme eingesetzt. Die Unterschiede in diesen Systemen haben auf die Ammoniakemissionen keinen entscheidenden Einfluss. Für die noch zu beschreibenden Staubemissionen ist dies jedoch nicht auszuschließen. Vor diesem Hintergrund muss eine detaillierte Beschreibung der Verfahren noch erfolgen.

Die Minderungsprozente sind in den Emissionsfaktoren der jeweiligen Haltungsverfahren berücksichtigt und lassen sich nicht gesondert ausweisen. Als baulich-technische Maßnahmen sind das Kotband und die Belüftung des Kotbandes berücksichtigt. Als weitere Minderungsoption wird das externe Kotlager genannt. Welchen Einfluss die externe Kotlagerung auf die Emissionen hat, kann aufgrund fehlender Emissionsdaten nicht festgelegt werden. Die Entmistungsintervalle des Kotbandes hingegen spielen eine wichtige Rolle für die Emissionsminderung. Als Standard wird von einer wöchentlichen Entmistung der Kotbänder ausgegangen, besser ist eine Entmistung zweimal pro Woche. Die Kotbandbelüftung sollte mit 0,4 bis 0,5 m³ pro Tier und Stunde durchgeführt werden.

Die Ammoniakemissionsfaktoren und einige Minderungsmaßnahmen in der Junghennen- und Mastgeflügelhaltung finden sich in EURICH-MENDEN et al. (2011).

Tab. 3: Ammoniakemissionsfaktoren für verschiedene Legehennenhaltungsverfahren (Stand April 2010)
 Tab. 3: Ammonia emission factors for various laying hen housing systems, April 2010

Legehennenhaltungsverfahren	Emissionsfaktor ¹⁾ NH ₃ g · TP ⁻¹ · a ⁻¹
Kleingruppenhaltung ²⁾ , unbelüftetes Kotband, Entmistung einmal pro Woche	150
Kleingruppenhaltung ²⁾ , belüftetes Kotband, Entmistung einmal pro Woche	40
Bodenhaltung mit Volierengestellen, unbelüftetes Kotband, Entmistung zweimal pro Woche ³⁾	56
Bodenhaltung mit Volierengestellen, unbelüftetes Kotband, Entmistung einmal pro Woche ³⁾	91
Bodenhaltung mit Volierengestellen, belüftetes Kotband, Entmistung einmal pro Woche ³⁾	46
Bodenhaltung, Kotbunker, ganzjährige Lagerung des Kots im Stall ³⁾	315

¹⁾ Angabe in Ammoniak.

²⁾ Begriff in Deutschland; In der EU wird das Haltungsverfahren als „ausgestalteter Käfig“ bezeichnet, der sich durch ein geringeres Platzangebot auszeichnet. ³⁾ Emissionen aus dem Stallbereich, ohne den Anteil der Auslaufhaltung.

Literatur

- Dämmgen, U.; Haenel, H.-D.; Lüttich, M.; Osterburg, B.; Döhler, H.; Eurich-Menden, B. (2008): Landwirtschaftliche Emissionsinventare in Deutschland. Landtechnik, 63 (4), S. 226–227
- Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Dämmgen, U.; Osterburg, B.; Lüttich, M.; Bergschmidt, A.; Berg, W.; Brunsch, R. (2002) BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. Forschungsbericht 299 42 256/02. Texte 05/02. Umweltbundesamt, Berlin
- Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Van den Weghe, H. (2010): Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar: Teil 1: Milchvieh. Landtechnik 65 (6) S. 434–436
- Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Van den Weghe, H. (2011): Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar: Teil 2: Geflügel und Mastschweine. Landtechnik 66 (1), 60–63
- Rösemann, C.; Haenel, H.-D.; Poddey, E.; Dämmgen, U.; Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Laubach, P.; Dieterle, M.; Osterburg, B. (2011) Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 bis 2009. Landbauforschung - vTI, Sonderheft 342
- UNECE (2007): Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia. <http://www.unece.org/env/documents/2007/eb/wg5/WGSR40/ece.eb.air.wg.5.2007.13.e.pdf>, Zugriff am 26.07.2011

Einfluss der Reinigungsintensität und der Tierpräsenz auf das Ammoniakemissionsverhalten von Betonspaltenböden in Milchviehlaufställen

Effects of cleaning intensity and animal presence on the performance of ammonia emission from concrete slatted flooring in free stall dairy barns

STEFANIE K. RETZ¹, HEIKO GEORG², HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE²

¹ Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

² Georg-August Universität Göttingen, Department für Nutztierwissenschaften, Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft, Universitätsstr. 7, 49377 Vechta

Schlüsselwörter: Ammoniak, Spaltenbodenreinigung, Emissionsminderung
Keywords: ammonia, cleaning of slatted floors, emission mitigation

Zusammenfassung

In einem ökologisch bewirtschafteten Milchviehstall wurde eine spezielle Reinigungsmaschine auf einem Spaltenboden eingesetzt. Um die Ammoniakemissionen und die Wirkung der Reinigung zu untersuchen, wurden Teilstücke des Bodens aus dem Stall entnommen und in klimatisierten Messkammern untersucht.

Die Messungen wurden während zwei Messperioden durchgeführt, während der Weidesaison und während der „Winterperiode“, wenn sich die Tiere den ganzen Tag im Stall befanden. Die Reinigung zeigte während der Weidesaison einen Minderungseffekt auf die Ammoniakemission vier Stunden nach der Reinigung. Während der Winterperiode wurde dieser Effekt nach sechs Stunden nicht mehr festgestellt.

Summary

On an ecological managed farm, a special cleaning device was used on slatted flooring. In order to investigate the effect of the cleaning on the ammonia emission, parts of the slatted floor were removed from the barn into air-conditioned measuring chambers.

The measurements were performed at two seasons, during pasture period and during the winter period when the cows were indoors 24 hours a day. During pasture period, the cleaning of the slatted floor showed a mitigation of the emission four hours after cleaning. During the winter period, this effect could not be detected anymore after six hours.

1 Einleitung

Die moderne Rinderhaltung trägt zu einem großen Teil zur Gesamtemission von Ammoniak bei (MISSELBROOK et al., 2000). Verschmutzte Laufflächen, insbesondere Spaltenböden stellen eine relevante Emissionsquelle dar (OGINK und KROODSMA, 1996). Daher besteht der Bedarf einer adäquaten Reinigung des Bodens, um Ammoniakemissionen möglichst zu reduzieren.

Auch in der ökologischen Wirtschaftsweise stehen in zahlreichen Betrieben die Kühe nach wie vor auf Spaltenböden. In der Regel ist diese Haltung in Laufställen jedoch mit einer Weidehaltung oder Auslauf verbunden.

Aktuelle Messmethoden zur Erfassung von Ammoniakemissionen aus Rinderställen geben derzeit jedoch nur unzureichende Informationen über die tatsächlichen Emissionswerte aus frei gelüfteten Rinderställen, insbesondere den einzelnen Emissionsbeitrag von den Laufflächen (PHILLIPS et al., 2000).

2 Zielsetzung

Ziel dieser Untersuchung war es, zu prüfen ob ein speziell für Spaltenböden entwickeltes Reinigungssystem die Ammoniakemissionen von den Spalten reduzieren kann und wie sich die Weidehaltung auf die Emissionen von den Laufgängen auswirkt.

3 Material und Methoden

Auf einem ökologischen Milchviehbetrieb mit ca. 86 Deutsche Holstein in Schleswig-Holstein wurden Messungen über ein Jahr verteilt während zwei verschiedener Messperioden durchgeführt. Während der „Winterperiode“ (März, April, November) verbrachten die Tiere 24 Stunden innerhalb des Stallgebäudes. Während der Weidesaison (Mai, Juni, Juli, August) kamen die Tiere tagsüber auf die Weide (8–16 Uhr).

Zur Reinigung des Spaltenbodens wurde ein spezielles Reinigungssystem entwickelt, welches die mechanische Reinigungswirkung eines Gummischiebers und Räumsternes mit der Nassreinigung eines Hochdruckreinigers kombiniert.

Einerseits wurde der Einfluss des Weidegangs der Tiere und der ganztägigen Stallhaltung auf die Ammoniakemissionen des Spaltenbodens erfasst, andererseits wurde die Reinigungswirkung auf die Ammoniakemissionen jeweils direkt, zwei, vier und sechs Stunden nach der Reinigung während beider Perioden gemessen. Im Sommer fand die Reinigung statt, nachdem die Tiere den Stall verlassen hatten. In der „Winterperiode“ wurde die Reinigung täglich um 8 Uhr durchgeführt.

Um die Reinigung zu bewerten, wurde ein Teil des Stalls als „Kontrollfläche“ nicht gereinigt und parallel zu den gereinigten Flächen beprobt. Zur Messung der Ammoniakemissionen von den Spalten wurden Spaltenbodenelemente (55 × 62 × 20 cm) aus dem vorhandenen Boden herausgeschnitten. Jeweils zwei gereinigte Spaltenelemente und zwei nicht behandelte Kontrollspalten wurden pro Messdurchgang in Messkammern in einem Bürocontainer unter kontrollierten klimatischen Bedingungen (20 °C) untersucht.

Über Membranpumpen wurde die Luft aus den Messkammern durch Gaswaschflaschen geleitet. Pro Messkammer waren jeweils zwei Gaswaschflaschen in Reihe geschaltet und mit jeweils 250 ml Schwefelsäure (Konzentration: 0,1 n) gefüllt. Der emittierte Ammoniak reagierte mit der Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat, welches quantitativ mit einem Photometer (Skalar, Model San++, Breda, Niederlande) bestimmt werden konnte.

Die Konsistenz der Gülle auf den Spalten wurde durch tägliche Stichproben bestimmt und mit einer Skala von 1 (sehr flüssig) bis 5 (sehr fest) nach PFADLER (1981) und TRAMPLER (2002) bewertet. Die Temperatur innerhalb des Stalls wurde mit Datenloggern (Onset, Model U12-012, Cape Cod, MA, USA) erfasst.

4 Ergebnisse

In der „Winterperiode“ wurden signifikant höhere Ammoniakwerte ($11,5 \pm 7,3 \text{ mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ von den Kontrollflächen) gefunden als während der Weidesaison ($6,6 \pm 3,9 \text{ mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ von den Kontrollflächen).

Die Reinigung der Spalten hatte vier Stunden nach der Reinigung während beider Messperioden einen signifikanten Effekt auf die Ammoniakemissionen ($-43,8 \%$ im Sommer und $-42,5 \%$ im Winter) und zudem sechs Stunden nach der Reinigung während der Weidesaison ($-32,7 \%$). Während der Winterperiode konnte dieser positive Minderungseffekt nach sechs Stunden nicht mehr festgestellt werden.

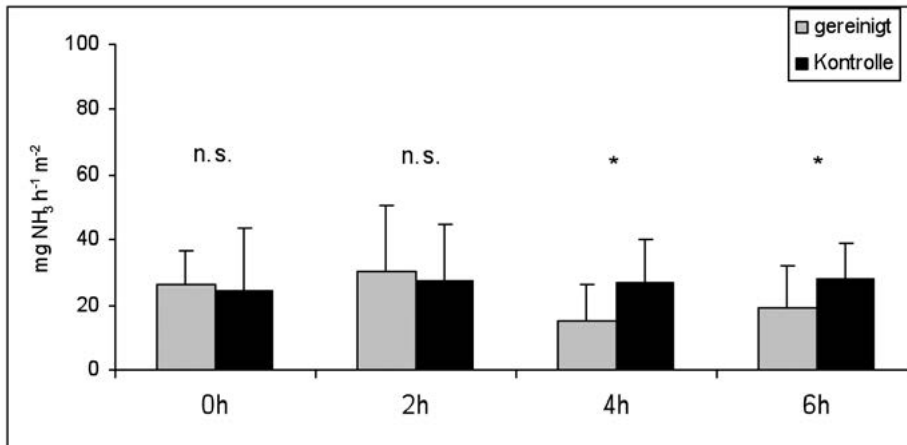


Abb. 1: NH₃-Emissionen von den Spalten während der Weidesaison (* = $p \leq 0,05$)

Fig. 1: Ammonia emission from the slats during the pasturing (* = $p \leq 0,05$)

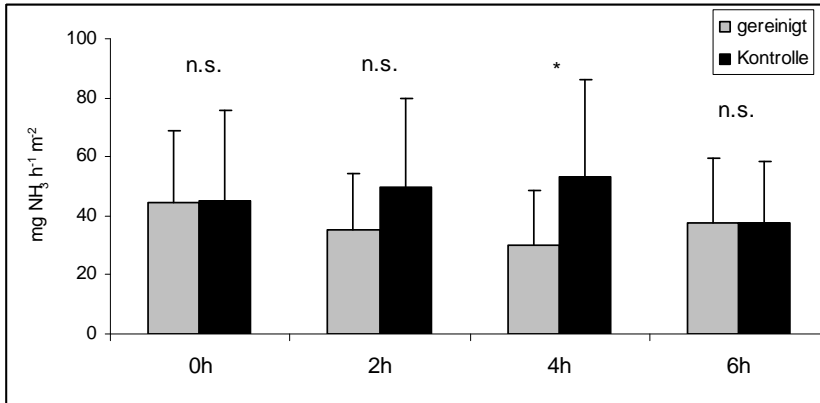


Abb. 2: NH₃-Emissionen von den Spalten während der „Winterperiode“ (* = p ≤ 0,05)

Fig. 2: Ammonia emission from the slats during the housing period (* = p ≤ 0,05)

Tabelle 1 zeigt den Unterschied der mittleren Temperaturen im Stall während der Weidesaison und der ganztägigen Stallhaltung in der „Winterperiode“. Die Kotkonsistenz während der Weidesaison war signifikant flüssiger (ca. 1,3) als während der „Winterperiode“ (ca. 2,6).

Tab. 1: Mittlere Konsistenz des Kots auf den Spalten und mittlere Temperaturen im Stall, 24 Stunden vor den Messungen

Tab. 1: Mean texture of the faeces on the slats and mean temperature inside the barn, 24 hours before the measurements

Saison	Zeitpunkt der Messung nach der Reinigung (in Std.)	Mittlere Konsistenz des Kots auf den Spalten	Mittlere Temperatur im Stall (in °C)
Weidesaison	0	1,3 ± 0,4	20,2
	2	1,3 ± 0,6	19,9
	4	1,4 ± 0,6	19,2
	6	1,3 ± 0,5	19,0
Ganztägige Stallhaltung	0	2,7 ± 0,6	9,1
	2	2,6 ± 0,5	8,4
	4	2,3 ± 0,7	9,2
	6	2,6 ± 0,7	11,0

5 Diskussion

Die oberflächliche Reinigung der Laufflächen erfolgte gründlich und zufriedenstellend. Dennoch trat der Emissionsminderungseffekt während beider Messperioden „verspätet“ erst nach vier Stunden ein. Ein Grund hierfür könnte die ungenügende Reinigung der Spaltenzwischenräume sein, da das Kot-Harn-Gemisch an den Seitenrändern haften

blieb. Der Einsatz von Wasser wirkte sich förderlich auf die biologische Aktivität auf den Spalten und somit den enzymatischen Abbau von Harnstoff zu Ammoniak aus. Darüber hinaus löst sich Ammoniak in Wasser. Die Betonspalten trocknen erst nach und nach und emittieren dabei gelöstes Ammoniak durch die Verdunstung des Wassers (HAMELIN et al., 2010). Daher verringerten sich die Emissionen erst nach einer Abtrocknungsphase von vier Stunden. Zudem führte während des Reinigungsprozesses das Abschieben des Mists zu einer erhöhten Vermischung des Kots mit Harn, was wiederum die Emissionen förderte (MUCK, 1982).

Der ausbleibende Minderungseffekt, sechs Stunden nach der Reinigung während der „Winterperiode“ war durch die Anwesenheit der Tiere bedingt, welche eine kontinuierliche Wiederverschmutzung des Bodens verursachten. Dies führt zu dem Schluss, dass eine einmalige, tägliche Reinigung des Spaltenbodens während des ganztägigen Stallaufenthalts nicht ausreicht, um einen deutlichen Minderungseffekt der Ammoniakemissionen zu erzielen.

Die Ammoniakemissionen, welche während der Weidesaison gemessen wurden, sind signifikant geringer als während der „Winterperiode“. Dies hängt in erster Linie mit der Tierpräsenz zusammen. Sind die Tiere auf der Weide, produzieren sie insgesamt weniger Kot und Harn innerhalb des Stalls als während des ganztägigen Stallaufenthalts (NGWABIE et al., 2009). Zudem spielte die Kotkonsistenz eine Rolle. Während der Weidesaison zeigte sich ein signifikant flüssigerer Kot auf den Spalten als während der Winterperiode. Flüssiger Kot tropft besser von den Spalten in den Güllekanal ab und haftet in geringerer Menge an den Seitenrändern. Die grundsätzlich geringeren Kotmengen während der Weidesaison äußern sich in geringeren Gesamtemissionen.

Die Stalltemperaturen wirkten sich nur marginal auf die eigentlich gemessenen Emissionen aus, da die Messungen unter klimatisch kontrollierten Bedingungen durchgeführt wurden. Als vorlaufenden Effekt kann jedoch betrachtet werden, dass durch höhere Temperaturen im Stall während der Weidesaison Harn und Wasser schneller abtrocknen und somit während der eigentlichen Messung in den Messkammern nicht mehr erfasst wurden.

6 Fazit

Während der Weidesaison zeigte sich nach vier Stunden ein nachhaltiger Minderungseffekt der Ammoniakemissionen durch das Reinigungssystem. Während des ganztägigen Stallaufenthalts im Winter konnte nach sechs Stunden kein Minderungseffekt mehr festgestellt werden. Die Weidehaltung in einem ökologischen Milchviehbetrieb wirkte sich verringern auf die Ammoniakemissionen des Spaltenbodens durch verkürzte Stallaufenthaltsdauer der Tiere und dem damit geringeren Verschmutzungsgrad der Spalten aus.

Literatur

- Hamelin, L.; Godbout, S.; Thériault, R.; Lemay, S.P. (2010): Evaluating ammonia emission potential from concrete slat designs for pig housing. *Biosystems Engineering* 105, pp. 455–465
- Misselbrook, T. H.; Van Der Weerden, T. J.; Pain, B. F.; Jarvis, S. C.; Chambers, B. J.; Smith, K. A.; Phillips, V. R.; Demmers, T. G. M. (2000): Ammonia emission factors for UK agriculture. *Atmospheric Environment* 34, 871–880
- Muck, R. E. (1982): Urease Activity in Bovine Feces. *Journal of Dairy Science* 65, pp. 2157–2163
- Ngwabie, N.M.; Jeppsson, K.H.; Nimmermark, S.; Swensson, C.; Gustafsson, G. (2009): Multi-location measurements of greenhouse gases and emission rates of methane and ammonia from a naturally-ventilated barn for dairy cows. *Biosystems Engineering* 103, 68–77
- Ogink, N. W. M.; Kroodsmas W. (1996): Reduction of Ammonia Emission from a Cow Cubicle House by Flushing with Water or a Formalin Solution. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63, 197–204
- Phillips, V. R.; Scholtens, R.; Lee, D. S.; Garland, J. A.; Sneath, R. W. (2000): SE-Structures and Environment: A Review of Methods for Measuring Emission Rates of Ammonia from Livestock Buildings and Slurry or Manure Stores, Part 1: Assessment of Basic Approaches. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77, 355–364
- Pfadler, W. (1981): Ermittlung optimaler Funktionsmasse von Spaltenböden in Milchviehlaufställen. Dissertation, Weihenstephan
- Trampler, W.; Schumacher U. (2002): Fütterung. In: *Milchviehfütterung im ökologischen Landbau*. Mainz, Bioland Verlags GmbH

Nachhaltige Nährstoffwirtschaft in intensiven Tierhaltungsregionen: Stickstoff- und Phosphorströme in der Schweinehaltung

Sustainability nutrientmanagement in intensive livestock areas (ILA): nitrogen- and phosphorflow in the pig production

DENNIS OTTEN, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE

Department für Nutztierwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft, Universitätsstr. 7, 49377 Vechta

Schlüsselwörter: Stickstoff- und Phosphorströme, Intensive Tierhaltungsregionen
Keywords: nitrogen- and phosphorflow, Intensive Livestock Areas (ILA)

Zusammenfassung

Auf Grundlage einer detaillierten Bilanzrechnung des betrieblichen Stoffhaushaltes von Stickstoff (N) und Phosphor (P) analysiert die folgende Studie die treibenden Kräfte für vor- und nachteilige Auswirkungen des Managements in einer intensiven Tierhaltungsregion (Intensive Livestock Area, kurz ILA) auf die Stoffströme. Am Beispiel von schweinehaltenden Betrieben konzentriert sich die Studie auf die besonderen Gegebenheiten, die aus der ILA und deren dynamischen Entwicklungen für die betrieblichen Stoffströme resultieren. Sie hebt positive Aspekte einer intensiven Tierhaltung im Stoffstrommanagement hervor und beschreibt mögliche Umwelteinwirkungen einer zunehmend regional und betrieblich konzentrierten Schweinehaltung.

Summary

Based on a detailed material balance of nitrogen (N) and phosphorus (P), the following study analyzes the advantages and disadvantages of management in an Intensive Livestock Area (ILA). Using the example of pig production, the study particularly focuses on the specific circumstances of the ILA and its dynamic development for the corporate material flows. The study demonstrates positive aspects of intensive animal husbandry on the material flow management and describes potential environmental impacts on growing regional and operationally focused pig production.

1 Einleitung und Zielsetzung

Die Schweinehaltung in ILAs stellt vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung hohe Anforderungen an das Stoffstrommanagement, da diese sehr hohe betriebliche Stoffströme haben und erhebliche regionale Tierdichte verzeichnen. Aus diesem Grund erfordert es insbesondere in einer ILA, den Blickwinkel des Stoffstrommanagements vor dem Hintergrund der vorherrschenden Produktionsbedingungen zu sehen (KOELSCH und LESOING, 1999). So ist es gerade in ILAs erforderlich, das Management der Stoffströme unter dem Gesichtspunkt der betrieblichen Umwelt und der vorherrschenden Produktionsbedingungen zu betrachten (BOSSHARD, 2000; FLEISCHER, 1998).

Verschiedenste Autoren befassten sich bereits mit Stoffströmen in der Schweinehaltung intensiver Haltungsformen (AARNINK und VERSTEGEN, 2007; SHARPLEY und TUNNEY, 2000). Auch die Bedeutung regionaler Konzentrationsprozesse fand vor diesem Hintergrund bereits Einzug in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen (OENEMA, 2004; JONGBLOED et al., 1999; WILLIAMS, 1995). Es machen jedoch sowohl der dynamische Anstieg regionaler Konzentrationsprozesse, als auch die zunehmenden Ansprüche an eine nachhaltige Erzeugung erforderlich, die Nachhaltigkeit der derzeitigen Entwicklung vor dem Hintergrund des Stoffstromhaushaltes in ILAs zu prüfen. In dieser Studie werden mögliche Umweltrisiken der Schweinehaltung in ILA herausgearbeitet und betriebliche Unterschiede für einen nachhaltigen Umgang und Management mit N und P herausgearbeitet.

2 Material und Methoden

Die Studie wurde in der Region Nordwestdeutschlands durchgeführt, welche eine sehr hohe regionale und betriebliche Dichte in der Schweinehaltung aufweist (WINDHORST und GRABKOWSKY, 2008). Es wurde der N- und P-Fluss von sechs ausgewählten schweinehaltenden Betrieben analysiert. Sowohl die Anzahl der gehaltenen Tiere je untersuchtem Betrieb (\varnothing 329 Sauen [Ferkelerzeuger (FE) + Kombibetrieb (K)], \varnothing 784 Mastplätze [Mastbetrieb (M) + K]) als auch die Konzentration der Tierdichte je Flächeneinheit (Betriebe \varnothing 2,73 GVE/ha, Region \varnothing 2,98 GVE/ha) entsprechen den regionalen Gegebenheiten. Das Leistungsspektrum liegt im Mittelmaß (21,9 Abgesetzte Ferkel/Sau und Jahr [FE + K], 707 g Tageszunahmen Mast [M + K]). Die Betriebsfläche beträgt im Durchschnitt der Betriebe 68,41 ha. Der Pflanzenbau besteht vor allem aus wechselnden Anteilen von Getreide- (\varnothing 36,32 ha), Mais- (\varnothing 25,68 ha) und geringen Mengen (\varnothing 5,34 ha) Rapsanbau u. a. (\varnothing 1,09 ha) mit sandigen oder anlehmigen Böden mäßiger Qualität (18–35 Bodenpunkte).

Der Untersuchungszeitraum betrug vier Jahre. Insgesamt wurden der Stoffinput, die innerbetrieblichen Transformationsprozesse und der Stoffoutput von allen betrieblichen Gütern bilanziert. Die Berechnungsperiode entspricht in der Nutztierhaltung einem deutschen Buchführungsjahr (01.07–30.06 des jeweiligen Jahres). Im Pflanzenbau wurde die angebaute Frucht bilanziert. Ebenso sind Bodenuntersuchungen für einen Zeitraum von fünfzehn Jahren herangezogen worden.

Der Tierverkehr wurde nach GfE 2006 bilanziert. N-Depositionswerte wurden anderweitigen Studien entnommen (BULTJES et al., 2011). Aufgrund der hohen Bedeutung des Wirtschaftdüngers für ein nachhaltiges Stoffstrommanagement wird hierauf besonders eingegangen. Insbesondere die Wahrnehmung des Wirtschaftdüngereinfalles und deren Düngewirkung stehen hier im Fokus. Hierfür wurden die Nährstoffgehalte des Wirtschaftsdüngers in den Analysebetrieben beprobt¹⁾ und durch Multiplikation der Angaben der Düngemengen vom Landwirt zu den einzelnen Kulturen die geschätzte Jahresmenge an Wirtschaftdünger des Betriebsleiters ermittelt. Diese Angaben wurden dem tatsächlichen, bilanzierten Nährstoffanfall im Betrieb gegenübergestellt.

3 Ergebnisse

Im Pflanzenbau liegt der Stoffumsatz im Durchschnitt der Betriebe bei 223,6 kg N/ha und 96 kg P₂O₅/ha, wobei Effizienzen von 1,73 (kg Input/kg Output) beim N und 1,43 (kg Input/kg Output) beim P₂O₅ erreicht werden. Der Input über den Mineraldünger beträgt 86,9 kg N und 14,2 kg P₂O₅. Über Wirtschaftsdünger werden durchschnittlich 90,3 kg N und 81,4 kg P₂O₅ zugeführt. Im Pflanzenbau liegen die Defizite durch Auswaschung und Akkumulation bei 97,4 kg N und 26,7 kg P₂O₅ je Hektar. Die Stoffeffizienz wird sowohl durch die Input- als auch durch die Outputvariablen beeinflusst. Den Düngemittelgaben kommt jedoch die höhere Einflussnahme zu. Während bei der N-Effizienz der Mineraldünger die größere Bedeutung hat, kommt bei der P-Effizienz dem Wirtschaftdünger der größere Einfluss zu. Bei den Düngemitteln ist eine hohe Differenz zwischen der Einschätzung der Düngemengen und der tatsächlich gedüngten Menge zu beobachten. Tabelle 1 stellt die Differenz zwischen der Wahrnehmung der Düngemengen und der tatsächlich gedüngten Menge dar. Es sind die untersuchten Betriebe im gesamten Untersuchungszeitraum zusammengefasst.

Tab. 1: Differenz zwischen der Wahrnehmung der Düngemengen und der tatsächlich gedüngten Menge
 Tab. 1: Difference between the perception of the fertilizer volume and the effective fertilized volume

	N		P ₂ O ₅	
	kg/ha	%	kg/ha	%
Wirtschaftsdünger	10,6 (± 18,5)	7,6 (± 18,1)	26,3 (± 22,6)	33,6 (± 23,7)
Mineraldünger	8,1 (± 17,5)	4,1 (± 18,8)	1,5 (± 3,7)	12,7 (± 29,8)

Es wird deutlich, dass insbesondere beim P die Düngemengen unterschätzt werden. Diese liegen beim Wirtschaftsdünger bei 33,6 % der gedüngten Menge und beim Mineraldünger bei 12,7 %. Die hohen Standardabweichungen zeigen, dass sehr hohe jährliche Schwankungen bestehen und verdeutlichen das Verbesserungspotenzial zudem. Signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Betrieben gab es nicht.

¹⁾ Trockensubstanz = DIN 38414 S 2, Organ.Substanz, Mineral.Substanz = DIN 38414 S3, Gesamtstickst. = DIN 19684, Ammoniumstickst. = ISO 11732 E23, Phosphor = ISO 11885.

Die Bodenuntersuchungen zeigen, dass Mitte der Neunzigerjahre mit der Intensivierung der Produktion und einer damit einhergehenden nicht fachgerechten Wirtschaftsweise im Pflanzenbau eine hohe Akkumulation von P im Boden einherging. Bis zum derzeitigen Zeitpunkt haben sich die Werte dem Optimum (6–12 mg/100 gr. Boden) jedoch wieder angenähert. Neben der Abnahme der durchschnittlichen Flächenbelastungen ist ebenso eine stark rückläufige Streuung der durchschnittlichen Jahresbelastungszustände der Flächenbasis zu beobachten, sodass sich die Flächen in einer einheitlicheren Versorgungsstufe befinden. Aus Korrelationen der Versorgungsstufe der Böden mit der Entfernung der Flächen vom Betrieb wurde ersichtlich, dass für die Phosphorversorgung der Böden auch die Verteilgenauigkeit auf Betriebsebene in den Neunzigerjahren eine wichtige Rolle eingenommen hat.

Tabelle 2 stellt die bilanzierten Komponenten in der Nutztierhaltung dar.

Tab. 2: Bilanzierte Komponenten in der Nutztierhaltung

Tab. 2: *Balanced elements in the livestock farming*

Element	Einheit	Ferkelerzeugung				Schweinemast				Kombibetrieb			
		Menge		Menge		Menge		Menge		Menge		Menge	
		N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
		μ	±	μ	±	μ	±	μ	±	μ	±	μ	±
Input													
Säugefutter	kg/ Sau	11,2	2,2	5,3	1,1					7,6	1,7	3,6	0,8
NT-Futter	kg/ Sau	20,4	5,2	9,5	2,4					23,9	2,1	10,8	0,7
Ferkelfutter	kg/ Sau	21,9	1,6	8,7	0,7					22,4	2,7	9,4	0,8
Mastfutter	kg/ Masts.					15,9	0,94	6,8	0,3	15,6	1,7	6,9	0,7
Jungsauen	kg/ Sau	1,2	0,2	0,5	0,1					1,0	0,3	0,4	0,1
Ferkel	kg/ Masts.					2,1	0,14	0,8	0,1	2,1	0,4	0,9	0,2
	kg gesamt	54,7		24,0		18,0		7,7		72,6		32,1	
Output													
Mastschweine	kg/ Masts.					7,0	0,31	3,0	0,1	6,3	1,0	2,7	0,4
Ferkel	kg/ Sau	17,2	0,7	7,3	0,3					17,2	1,8	7,3	0,8
Schlachtsauen	kg/ Sau	1,9	0,2	0,9	0,1					1,7	0,4	0,8	0,2
Tierverluste	kg/ Sau	0,3	0,1	0,1	0,0					0,4	0,1	0,2	0,0
	kg/ Masts.					0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
W.dünger	kg/ Sau	29,3		15,6	1,3					29,6		15,9	0,9
	kg/ Masts.					7,2		4,6	0,3	7,6		5,1	0,8
Emmissionen	kg/ FE-PI.	6,0								6,0			
	kg/ M-PI.					3,6				3,6			
	kg gesamt	54,7		24,0		18,0		7,7		72,6		32,1	
Transferkoeffizient													
Transferk. FE.		2,86		2,93						2,90		2,99	
Transferk. Mast						2,56		2,55		2,80		2,91	
Transferk. gesamt										2,88		2,97	

In der Ferkelerzeugung liegt der Stoffumsatz beim N zwischen 54,7 (FE) und 54,9 kg (K) und beim P_2O_5 zwischen 24,0 (FE) und 24,2 kg (K). In der Schweinemast liegt dieser bei 17,7 N (K) und 18,0 kg N (M) und beim P_2O_5 zwischen 7,6 (M) und 7,9 kg (K). Verlustpfade stellen Outputs durch Tierverluste, Emissionen und Wirtschaftdünger dar. Die Bilanzierung ergibt ein Wirtschaftsdüngeranfall je Stallplatz zwischen 29,3–29,6 kg N und 15,6–15,9 kg P_2O_5 in der Ferkelerzeugung und 7,2–7,6 kg N und 4,6–5,1 kg P_2O_5 in der Schweinemast. In der Ferkelerzeugung liegt die Effizienz (FE N = 2,86, P_2O_5 = 2,93/ K N = 2,90, P_2O_5 = 2,99) verfahrenstechnisch bedingt unter der Mastschweinehaltung (M N = 2,56, P_2O_5 = 2,55/ K N = 2,8, P_2O_5 = 2,91).

In der Ferkelerzeugung werden über das Futter im Mittel 84,93 g N/kg produziertes Ferkel ($\pm 4,20$ g) und 38,26 g P_2O_5 /kg Ferkel ($\pm 1,76$ g) zugeführt. Sowohl bei der N-Effizienz als beim P_2O_5 (3,06 $\pm 0,15$) kommt dem Sauenfutter hier die größere Einflussnahme zu. Im Mittel führten die Betriebe 50,03 g N ($\pm 4,5$ g) und 23,06 g P_2O_5 ($\pm 1,8$ g) je kg Output zu (Ferkelfutter 35,04 g N, 15,20 g P_2O_5). Neben der Ausnutzung des genetischen Leistungspotenzials (19,9–25,87 abgesetzte Ferkel je Sau/Jahr) ist bei weitgehend gleichen Gehalten der verwendeten Futtermittel (Säugefütter \varnothing 26,6 g N/kg und \varnothing 12,5 g P_2O_5 /kg, NT-Futter \varnothing 22,7 g N/kg und \varnothing 10,4 g P_2O_5 /kg, Ferkelfutter = \varnothing 27,9 g N/kg und \varnothing 12,1 g P_2O_5 /kg) die anteilmäßige Verwendung zu den jeweiligen Leistungsstadien (Niedertragend- und Säugefütter, Ferkelaufzuchtfuttermittel 1 und 2) für differenzierte Inputdaten ausschlaggebend.

In der Schweinemast werden für N-Effizienzen von \varnothing 2,57 ($\pm 0,13$) (kg Input/kg Output) \varnothing 73,30 g N Futter/ kg Zuwachs benötigt ($\pm 5,03$). Es kommen für eine P_2O_5 -Effizienz von \varnothing 2,60 ($\pm 0,13$) (kg Input/kg Output) \varnothing 31,93 g N/ kg Zuwachs ($\pm 1,97$) zum Einsatz. Bei einem Futterverbrauch von \varnothing 2,88 kg/kg Zuwachs ($\pm 0,1$) setzt sich der Futterinput aus Gehalten von N = 25,5 g/kg ($\pm 1,4$) und P_2O_5 = 11,1 g/kg ($\pm 0,5$) Futter zusammen. Die Umsatzraten ergeben sich aus Tageszunahmen von 610–798 g.

4 Diskussion

Die Stoffflussanalyse von Stickstoff und Phosphor zeigt, dass auch intensive Tierhaltungsregionen den Anforderungen an eine umweltverträgliche und nachhaltige Stoffstromwirtschaft gerecht werden können. Die Nachhaltigkeit der Erzeugung ist als Ergebnis der Reaktion des Landwirtes auf die vorherrschenden Bedingungen anzusehen und nicht vor dem Hintergrund der Strukturen und Produktionsbedingungen einzuordnen. In der Nutztierhaltung schlägt sich die intensive Wirtschaftsweise positiv auf die Stoffeffizienz nieder. Neben den betriebsstrukturell (FE, M, K) bedingten Unterschieden in der Ausnutzung der Stoffinputs, ist insbesondere eine differenzierte Ausnutzung des genetischen Leistungsspektrums des Tiermaterials ausschlaggebend. Im Pflanzenbau ist für die Effizienz weniger eine differenzierte Ausnutzung des Leistungspotenzials - der Ertrag - ausschlaggebend. Hier ist in erster Linie der zugeführte Stoffinput für die Effizienz verantwortlich. Sowohl beim Stoffinput durch Handels- als auch beim Wirtschaftsdünger bestehen hier beachtliche Unterschiede.

Die Studie stellt dar, dass sich das globale Spezifika regionaler Differenzierungen der Betriebstypen intensiver Tierhaltungs- und Ackerbauregionen in der ILA auch innerbe-

trieblich stückweit abzuzeichnen scheint. Insbesondere die Beitragsleistung der Nutztierhaltung für die Nährstoffversorgung im Pflanzenbau wird hier nicht genügend beim Mineraldüngerinput berücksichtigt. Für eine nachhaltige Entwicklung ist es erforderlich, dass aus der Intensivierung der Nutztierhaltung keine Desintegration des Pflanzenbaus im Management resultiert und sich die hohe Produktivität in der Nutztierhaltung nicht zulasten des komplementären Verständnisses der Stall-Flächen-Beziehung auswirkt.

Literatur

- Aarnink, A. J. A.; Verstegen, M. W. A. (2007): Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. In: *Livestock Science* Volume 109, Issues 1–3, 15 May 2007, 194–203
- Bosshard, A. (2000): A methodology and terminologie of sustainability assesment and its perspectives for rural planing. *Agriculture Ecosystem & Environment* 77, 29–41
- Builtjes, P. et al. (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und deren Wirkung in Deutschland (MAPESI – Modelling of Air Pollutants and Ecosystem Impacts). http://gis.uba.de/website/depo_gk3/index.htm, Zugriff am 04.04.2011
- Fleischer, E. (1998): Nutztierhaltung und Nährstoffbilanzen in der Landwirtschaft. *Angewandte Umweltforschung* Bd 10. Analytica 1998
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (2006): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, DLG-Verlag
- Jongbloed, A. W.; Poulsen, H. D.; Dourmad, J. Y; van der Peet-Schwering, C. M. C. (1999): Environmental and legislative aspects of pig production in The Netherlands, France and Denmark. In: *Livestock Production Science*, Volume 58, Issue 3, 30 April 1999, pp. 243–249
- Koelsch R.; Lesoing G. (1999): Nutrient Balance on Nebraska Livestock Confinement Systems. *Journal of Animal Science* 77, 63–71
- Oenema, O. (2004): Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European agriculture. *Journal of Animal Science*. 882 pp. 196–206
- Sharpley, A.; Tunney, H. (2000): Phosphorus research strategies to meet agricultural and environmental challenges of the 21st century. In: *Journal of environmental quality*. Jan/ Feb 2000. v. 29 (1), 176–181
- Van der Hoek; K. W. (1998): Nitrogen efficiency in global animal production. In *Environmental Pollution* 102, SI, pp.127–132
- Williams, P. E. V. (1995): Animal production and European pollution problems. In: *Animal Feed Science and Technology*, Volume 53, Issue 2, June 1995, 135–144
- Windhorst, H.-W.; Grabkowsky B. (2008): Die Bedeutung der Ernährungswirtschaft in Niedersachsen. Vechta: The Institute for Spatial Analysis and Planning in Areas of Intensive Agriculture (ISPA). University of Vechta, 2008. http://www.ernaerungswirtschaft.de/index.php?con_cat=33&con_lang=1, Zugriff am 25.08.2009

Lachgas-Emissionen beim Futteranbau in unterschiedlichen Schafhaltungssystemen in Syrien

Nitrous oxide emissions from feed production in different keeping systems for sheep in Syria

OMAR HIJAZI¹, WERNER BERG¹, REINER BRUNSCH¹, SAMOUIL MOUSSA²

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

² Universität Damaskus, Landwirtschaftliche Fakultät, Damaskus, Syrien

Schlüsselwörter: N₂O-Emissionen, Futtermittelproduktion, Schafhaltung

Keywords: N₂O emissions, feed production, sheep keeping

Zusammenfassung

In Syrien gibt es drei verschiedene Schafhaltungssysteme: das Extensive, das Intensive und das Halbintensive. Veränderte Rahmenbedingungen der Schafproduktion in Syrien und die zunehmende Anzahl der Schafe führen zu einer Übernutzung der traditionellen Weidegründe. Ein vermehrter Anbau von Futter für die Schafhaltung ist mit erhöhten Emissionen von Lachgas (N₂O) verbunden. In verschiedenen Regionen Syriens wurden auf 64 Betrieben relevante Daten zu den Emissionen erhoben. Das Ziel ist es, Informationen zu Emissionen aus der syrischen Schafhaltung zu gewinnen und daraus mögliche Bewirtschaftungsempfehlungen für die syrischen Landwirte zur nachhaltigen Schafhaltung abzuleiten. Die Ergebnisse zeigen, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Haltungssystemen gibt. Das Intensiv-Haltungssystem ist mit deutlich höheren N₂O-Emissionen verbunden als die beiden anderen Haltungssysteme. Verglichen mit dem traditionellen, extensiven System sind die Emissionen etwa sechsmal so hoch. Das halbintensive System hat etwa doppelt so hohe N₂O-Emissionen wie das traditionelle.

Summary

There are three sheep keeping systems in Syria: extensive, semi-intensive and intensive. The changing environment and the increasing number of sheep lead to an overuse of the Steppe. An increase of feed production causes more nitrous oxide (N₂O) emissions. Data about the sheep and feed production were collected from 64 farms in different regions in Syria. The aim of this study is to get information on emissions from sheep production in Syria and to find management recommendations for Syrian farmers. There are significant effects of the housing systems on the N₂O emissions. The intensive keeping system produced significantly higher N₂O emissions about six times than the extensive (traditional) system. The semi-intensive system produced twice as high N₂O emissions as the traditional one.

1 Einleitung

Die Schafhaltung in Syrien basiert fast ausschließlich auf Awassi-Schafen. Dies ist eine heimische Schafrasse, die auch für ungünstige Naturbedingungen gut geeignet ist. Die steigende Nachfrage nach Awassi-Produkten wie Fleisch, Milch und Wolle führt dazu, dass die Zahl der gehaltenen Schafe ansteigt. Damit nimmt auch die Nachfrage nach Futtermitteln zu. Beim Futteranbau wird Stickstoffdünger eingesetzt. N_2O -Emissionen entstehen durch mikrobielle Prozesse im Boden und werden beeinflusst durch landwirtschaftliche Tätigkeiten wie das Düngen. Nitrifikation ist die Bildung von Nitrat aus Ammoniak, Denitrifikation ist die Reduktion von Nitrat zu Stickstoff, N_2O ist ein Nebenprodukt beider Prozesse (LEIP et al., 2010). Die N_2O -Produktion im Boden ist damit von Nitrifikation und Denitrifikation abhängig (KAMP et al., 1998). Lachgas (N_2O) ist ein klimarelevantes Spurengas, es trägt zum Ozonabbau in der Stratosphäre sowie zu 8 % am anthropogenen Treibhauseffekt bei und stammt zum Großteil aus landwirtschaftlich genutzten Böden (PFAB et al., 2009). Die entwickelten Länder und Länder mit großer Anzahl von Wiederkäuern sind verantwortlich für die höchsten N_2O - und CH_4 -Emissionen. Die Emissionen sind abhängig von Menge und Art der Futtermittel (MUYLAERT de ARAUJO et al., 2007). Die N_2O -Emissionen werden neben der Menge an eingesetztem Stickstoffdünger auch vom Zeitraum des Düngereinsatzes beeinflusst (SMITH et al., 1997). Ziel der Untersuchungen ist es, Informationen zu Emissionen aus der syrischen Schafhaltung zu gewinnen und Bewirtschaftungsempfehlungen für die syrischen Landwirte zu finden, um die Schafhaltung nachhaltig betreiben zu können. Hierzu wird ein Vergleich zwischen den auftretenden N_2O -Emissionen bei der Futterproduktion der jeweiligen Schafhaltungssysteme angestellt.

2 Material und Methode

2.1 Datenquellen

Im Rahmen des Projekts wurden 64 Betriebe in verschiedenen Regionen Syriens besucht (Abb. 1), um relevante Daten zu den Emissionen zu erheben. Die Regionen repräsentieren die unterschiedlichen natürlichen Bedingungen, die in Syrien vorherrschen. Die Größe des Tierbestandes je Betrieb beträgt zwischen 30 und 800 Mutterschafen. Die Lebendmasse der Mutterschafe beträgt zwischen 35 und 66 kg. Über die Angaben zu den Tierbeständen und den Halungsverfahren hinaus beziehen sich diese Daten auf die Produktion der eingesetzten Futtermittel: Konzentratfutter (Getreide), natürliche Weide, das Weiden auf Weizenresten und das Weiden auf Baumwollresten.

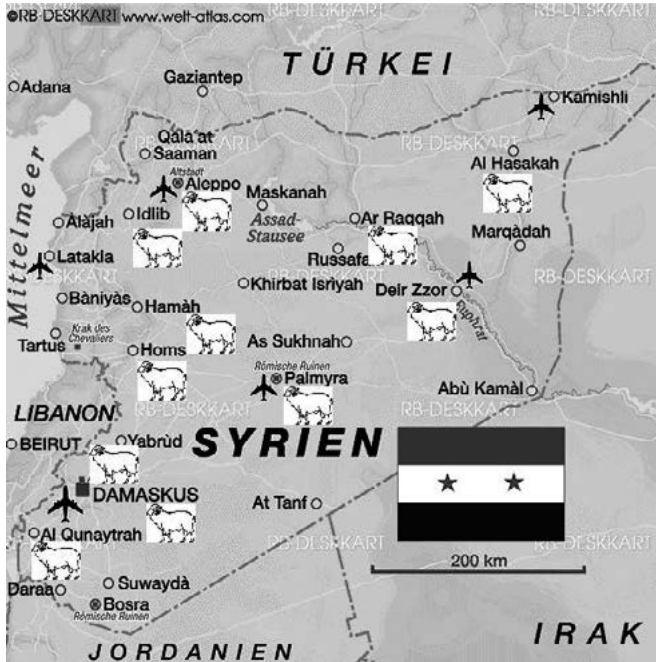


Abb. 1: Landkarte von Syrien mit Kennzeichnung der Regionen (🐑) in denen Betriebsdaten erhoben wurden

Fig. 1: Map of Syria with the signs (🐑) of the regions where data were collected

2.2 Haltungssysteme

Das extensive Haltungssystem nutzt Steppen, die anderweitig nicht bewirtschaftet werden können. Dieses Haltungssystem repräsentiert die traditionelle Weidehaltung und ist die meistverbreitete Haltungsform in Syrien. Dieses System ist sehr stark abhängig von dem Zustand der Steppen und den Niederschlägen. Nur wenn es gute Weideflächen gibt, ist die Ernährung der Schafe gesichert. Im Intensivhaltungssystem werden die Schafe permanent im Stall gehalten und Futter zugekauft. Die Futterrationen variieren von Betrieb zu Betrieb. Die Futterkosten belaufen sich auf 60 bis 70 % der gesamten Kosten (ACSAD, 2006). Das Halbintensiv-Haltungssystem verbindet beide genannten Arten, d.h. die Schafe werden zeitweise im Stall gehalten und es wird ein Teil des Futters zugekauft.

2.3 Futtermittel

Auf den 64 untersuchten Betrieben werden folgende Futtermittel eingesetzt: Konzentratfutter (Gerste, Soja, Weizenschalen, Mais, Brotreste), Weiden auf natürlichen Steppen, Weiden auf Weizenresten (nach der Weizenernte) und Weiden auf Baumwollresten (nach der Baumwollernte).

2.4 N₂O-Emissionen

Die Berechnung der N₂O-Emissionen aus dem Futteranbau erfolgt nach der vom IPCC (1996) empfohlenen Methode TIERIII und DÄMMGEN (2006):

$$E_{N_2O-N} = m_N \cdot EF_{\text{graz},N_2O} \cdot \gamma_{N_2O}$$

- E_{N_2O-N} : Emissionen von N₂O aus dem Boden (Gg a⁻¹ N₂O)
 m_N : Menge von N, die verdüngt wird (Gg a⁻¹ N₂O)
 EF_{graz,N_2O} : Emissions-Faktor für N₂O aus dem N-Dünger (in kg kg⁻¹N)
 γ_{N_2O} : mass conversion factor ($\gamma_{N_2O} = 44/28 \text{ gg}^{-1} \text{ mol mol}^{-1}$)

Für den Anbau der verschiedenen Futtermittel werden die im Bericht der Direktion der landwirtschaftlichen Entwicklung in Syrien 2009 (LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUM, 2009) angegebenen Mengen an Düngestickstoff berücksichtigt (Tab. 1). Bei Pflanzen, bei denen mehrere Pflanzenteile genutzt werden, erfolgt eine Aufteilung der N₂O-Emissionen entsprechend dem Verhältnis des in den verschiedenen Teilen enthaltenen Stickstoffs (N). Bei Weizen erfolgt diese Aufteilung gemäß dem N-Verhältnis zwischen Stroh und Körnern von 0,33 : 2,08 (DIEB, 1999). Bei der Baumwollpflanze liegt dieses Verhältnis zwischen Baumwollrest und gesamter Baumwolle bei 1:2 (MASRI, 2001).

Tab. 1: Jährliche Stickstoffdüngung der in der Schafhaltung verwendeten Futtermittel in Syrien
 Tab. 1: Yearly nitrogen fertilization for feedingstuffs which be used for sheep breeding in Syria

Ernteprodukte	Mineraldünger ¹⁾ kg/ha	Kompost ²⁾ t/ha
Gerste	30	15
Weizen	60	20
Baumwolle	80	30
Soja	20	5
Mais	100	40

¹⁾ 46 % Stickstoff, ²⁾ 7,5 kg Stickstoff je t (LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUM, 2009)

Anhand dieser Werte für die einzelnen Futtermittel und den betriebsspezifischen Futterrationen werden die N₂O-Emissionen für jeden einzelnen Betrieb kalkuliert.

3 Statistische Auswertung

Die erfassten und kalkulierten Werte für die einzelnen Betriebe und unterschiedlichen Haltungssysteme wurden miteinander verglichen. Die Daten wurden mithilfe der Statistiksoftware SAS (Version 9.2., SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ausgewertet. Der Einfluss von Haltungssystem und Lebendmasse der Schafe auf die N₂O-Emissionen wurde mit der Prozedur ANOVA überprüft.

Das folgende gemischte lineare Modell wurde benutzt:

$$E_{ij} = \mu + a_i + b_i * LM + c_j + e_{ij}$$

Mit

E_{ij} : N_2O -Emissionen aus dem Boden bei Futteranbau

μ : allgemeiner Mittelwert N_2O -Emissionen

a_i : fixer Effekt von Haltungssystem i

b_i : Effekt der Kovariable Lebendmasse des Mutterschafes LM in Haltungssystem i

c_j : zufälliger Betriebseffekt

e_{ij} : Residuum

4 Ergebnisse und Diskussion

Die drei verschiedenen Haltungssysteme unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der Haltungsbedingungen selbst, sondern auch in Bezug auf die verwendeten Futtermittel.

Die 46 Betriebe, die das extensive (traditionelle) Haltungssystem betreiben, verwenden die folgenden Futtermittel (Anteil im Jahresmittel): 27 % Konzentratfutter, 42 % Weide, 25 % Weizenrest und 5 % Baumwollrest.

Im Mittel der 16 Betriebe, die das halbintensive Haltungssystem betreiben, werden folgende Futtermittel verwendet (Anteil im Jahresmittel): 34 % Konzentratfutter, 57 % Weide und 9 % Weizenrest.

In den beiden Betrieben mit dem intensiven Haltungssystem werden das ganze Jahr ausschließlich Konzentrate verfüttert.

Die Ergebnisse des Modells zeigen, dass das Haltungssystem und die Lebendmasse der Schafe signifikante Effekte auf die N_2O -Emissionen haben (Tab. 2). Der Effekt des Haltungssystems ist auf die in den Haltungssystemen voneinander verschiedene Rationszusammensetzung zurückzuführen (s. o.). Der Effekt der Lebendmasse geht auf den mit zunehmender Lebendmasse steigenden Futtermittelverzehr zurück.

Tab. 2: Ergebnisse der Tests der festen Effekte Haltungssystem und Lebendmasse

Tab. 2: Results from the tests of the fixed effects of breeding system and the body mass

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F
Haltungssystem	2	31,4	18,14	< 0,0001
Lebendmasse	3	36,7	11,41	< 0,0001

Der Median der N_2O -Emissionen beträgt für das extensive Haltungssystem $0,07 \text{ kg a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$, die N_2O -Emissionen liegen zwischen $0,01 \text{ kg a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$ und $0,22 \text{ kg a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$. Im halbintensiven Haltungssystem ist der Median $0,16 \text{ kg a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$, die N_2O -Emissionen liegen zwischen $0,03$ und $0,25 \text{ kg a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$. Beim extensiven Haltungssystem beträgt der Median $0,40 \text{ kg a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$, die Emissionen liegen zwischen $0,24$ und $0,56 \text{ kg a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$ (Abb. 2). Das heißt im Vergleich zum extensiven, dem traditionellen

Haltungssystem, sind das halbintensive Haltungssystem mit etwa doppelt so hohen und das intensive Haltungssystem mit fast sechsmal so hohen N_2O -Emissionen verbunden. Dieses Ergebnis stimmt sehr gut überein mit der Studie von OENEMA et al. (1997) sowie STEHFEST und BOUMAN (2006), die gezeigt haben, dass die Anwendung von N-Dünger signifikante Effekte auf die N_2O -Emissionen hat.

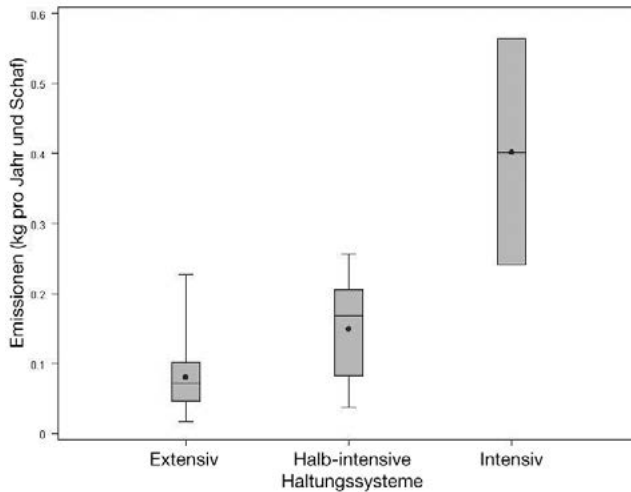


Abb. 2: N_2O -Emissionen der unterschiedlichen Schafhaltungssysteme
 Fig. 2: N_2O emissions from the different sheep keeping systems

Im intensiven Haltungssystem werden 12 Monate lang Konzentrate gefüttert. Im halbintensiven Haltungssystem sind dies nur 4 Monate und im extensiven Haltungssystem nur 3 Monate. Der Hauptanteil der Fütterung im halbintensiven Haltungssystem ist die natürliche Weide (7 Monate), während Weide auf Weizenresten etwa einen Monat verfügbar ist. Im Nordosten Syriens wird im extensiven Haltungssystem etwa einen Monat lang die Weide auf Baumwollresten genutzt. Weizenreste stehen für die extensiven Betriebe drei Monate lang als Weide zur Verfügung, in den übrigen fünf Monaten wird natürliche Weide genutzt.

5 Schlussfolgerungen

Die untersuchten Schafhaltungssysteme unterscheiden sich signifikant in den eingesetzten Futtermitteln. Während in dem intensiven Haltungsverfahren den Tieren ausschließlich Konzentratfutter verabreicht wird, sind die beiden anderen Systeme durch einen hohen Anteil an Weidehaltung gekennzeichnet. Mit den sehr unterschiedlichen Futterrationen geht ein sehr unterschiedlicher Einsatz von Stickstoffdünger beim Anbau der Futterpflanzen einher. Daraus resultieren große Unterschiede in den N_2O -Emissionen. Die Weidenutzung der Steppen im extensiven und auch noch im halbintensiven Hal-

tungssystem zeigt hier deutliche Vorteile gegenüber dem Anbau von Futterkonzentraten. Das intensive Haltungssystem ist mit nahezu sechsmal so hohen, das halbintensive Haltungssystem mit etwa doppelt so hohen N_2O -Emissionen verbunden als das traditionelle, extensive Haltungssystem mit ca. $0,07 \text{ kg } N_2O \text{ a}^{-1} \text{ Schaf}^{-1}$.

Literatur

- ACSAD, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands (2006). Annual report 2006
- Dieb, M. (1999): Crop Production. Publications of the University of Damascus
- Dämmgen, U. (Hrsg.) (2006): Nationaler Inventarbericht 2006 Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft. Landbauforschung, Sonderheft 291
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change) (1996): Revised 1996 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCCWGI Technical Support Unit, Bracknell
- Kamp, T.; Steindl, H.; Hantschel, R. E. F.; Beese, F.; Munch, J.-C. (1998): Biology and Fertility of soils 27 (3), 307–314
- Leip, A.; Busto, M.; Winiwarter, W. (2010): Developing spatially stratified N_2O emission factors for Europe. Environmental Pollution (2010), in press. doi: 10.1016/j.envpol.2010.11.024
- Landwirtschaftliches Ministerium in Syrien (2009). Jährlicher Bericht, die Direktion der landwirtschaftlichen Entwicklung in Syrien, Medienabteilung
- Masri, Y. (2001): Important of Cottonseed hulls and its use by fodder. Publications of the University of Damascus
- Muylaert de Araujo, M. S.; de Campos, C. P.; Pinguelli Rosa, L. (2007): Historical emissions, by country, of N_2O from animal manure management and CH_4 from enteric fermentation in domestic livestock. Climate Research 34, 253–258
- Moussa, S.; Hasnna, J. (2000): Basics of Animal Production. Publications of the University of Damascus
- Oenema, O.; Velthof, G.; Yamulki, L. S.; Jarvis, S. C. (1997): Nitrous oxide emissions from grazed grassland. Soil use and Management 13, 288–295
- Pfab, H.; Palmer, I.; Buegger, F.; Fiedler, S.; Müller, T.; Ruser, R. (2009): Einfluss von N-Düngermenge und Nitrifikationshemmung auf die direkten N_2O -Emissionen eines gemüsebaulich genutzten Ackerbodens. Jahrestagung der DBG 2009, Bonn. http://eprints.dbges.de/202/1/Pfab_et_al.pdf, Zugriff am 27.07.2011.
- Stehfest, E.; Bouman, L. (2006): N_2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74, 207–228
- Smith, K. A.; Thomson, P. E.; Clayton, H. P.; McTaggart, I. P.; Conen, F. (1997): Effects of Temperature, Water content and Nitrogen Fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. Atmospheric Environment 32 (19), 3301–3309

Auswirkungen der Sekundärpartikel aus gasförmigen Emissionen aus Tierhaltungsanlagen auf die Feinstaubbelastung in NRW

Impact of secondary particles from gaseous emissions generated from livestock buildings on the particle matter load of NRW

KATHARINA STANDKE, WOLFGANG BÜSCHER

Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nussallee 5, 53115 Bonn

Schlüsselwörter: Ammoniak, Sekundäre Aerosole, Partikelgrößen, Staubinhaltsstoffe
 Keywords: ammonia, secondary aerosols, particle size, dust ingredients

Zusammenfassung

Ziel der Arbeit ist es, das Bildungspotenzial von sekundären Partikeln aus gasförmigen Emissionen aus Tierhaltungsanlagen abzuschätzen. Ammoniak nimmt bei der Partikelbildung als Vorläufergas eine Schlüsselrolle ein. Während das Emissionsverhalten von herkömmlichen Stallanlagen ausführlich untersucht wurde, fehlen jedoch belastbare Werte für derzeit übliche Offenstallsysteme. Zu diesem Zweck wurden Messungen der Ammoniakemission von modernen Haltungsverfahren in der Milchvieh- und Geflügelhaltung durchgeführt. Die ermittelten Werte unterliegen großen Tagesschwankungen und zeigen deutliche Unterschiede im Jahresverlauf. Der Versuchsaufbau stellte sich als praxistauglich und zuverlässig für Langzeitmessungen heraus.

Summary

The aim of this work is to appreciate the potential of secondary particle formation from gaseous emissions from livestock buildings. Ammonia as a precursor gas plays a key role in the particle formation. The emission behaviour from conventionally livestock buildings is reviewed in detail yet; however, there is resilient data for modern, ethical husbandry missing. For this purpose measurements of the ammonia emission from modern husbandry systems for keeping dairy cattle and chicken were carried out. The considered values go under high daily fluctuations and show variability between seasons. The experimental set-up turns out to be practicable and reliable for long-term measurements.

1 Einleitung

Die landwirtschaftliche Tierhaltung ist grundlegend an der Emission von Gasen, wie z. B. Ammoniak, Stickoxiden oder flüchtigen organischen Substanzen (NMVOC) beteiligt. Die emittierten Gase sind Vorläufersubstanzen für chemische Reaktionen in der Atmosphäre, welche zur Bildung sogenannter Sekundärpartikel führen. Vor allem Ammoniak (NH_3) trägt zur Bildung dieser Partikel wesentlich bei. Durch Nukleation mit Schwefelsäure (H_2SO_4) und Salpetersäure (HNO_3), welche durch industrielle Verbrennungsprozesse in die Atmosphäre gelangen, entstehen die Salze Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) und Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) (PLATT, 2003).

Diese sekundären Partikel gehören mit einer Größen von $<0,2 \mu\text{m}$ zur alveolengängigen Staubfraktion und haben daher eine besondere Bedeutung im Hinblick auf die menschliche Gesundheit. In ländlichen Gebieten, vor allem im näheren Umfeld von Tierhaltungsanlagen, kann der Anteil von Ammoniumsalzen bis zu 40 % der gesamten Feinstaubmasse (PM_{10}) in der Luft betragen (LOHMEYER et al., 2003).

2 Zielsetzungen

Folgende Fragestellungen sollen daher in den eigenen Untersuchungen bearbeitet werden:

- Welche Einflüsse auf die Bildung von Sekundärpartikeln bestehen (Ursprungsgase, UV-Licht, Lüftungseinflüsse des Stalls)?
- Wie hoch sind die Konzentrationen des Vorläufergases NH_3 in modernen Haltungssystemen (z. B. frei belüftete Milchviehställe) und wie können diese Werte zur Abschätzung des Bildungspotenzials sekundärer Partikel dienen?
- Welche Bedeutung hat die landwirtschaftliche Tierhaltung für die allgemeine Feinstaubbelastung im Nah- und Fernbereich?
- Welche Minderungsmöglichkeiten stehen gegebenenfalls zur Verfügung?

3 Material und Methode

Die Messungen zur Ammoniakemission aus modernen Haltungsverfahren werden in quergelüfteten Milchviehställen und einem Legehennenstall mit Volierenhaltung und angrenzendem Kaltscharrraum durchgeführt.

In dem ersten Milchviehstall sind die Messungen zur Abluftkonzentration bereits vollständig abgeschlossen. Der frei belüftete Liegeboxenlaufstall A ist 48,52 m lang und 17,12 m breit (einschließlich Futtertisch) und beherbergt 61 Milchkühe der Rasse Deutsche Holstein. Der Fußboden ist planbefestigt und wird mit zwei Flüssigmistschiebern gereinigt, dessen Abwurfshächte sich im Stallraum befinden. Die Fütterung erfolgt über Wiegetröge und zwei transpondergesteuerten Kraftfutterstationen.

Der zweite Liegeboxenlaufstall ist ebenfalls quergelüftet, optional kann eine Firstlüftung zugeschaltet werden. Die Länge des Stalles beträgt 67,9 m, die Breite 34,2 m. Durch Folienrollos kann dieser Stall in drei gleich große, lüftungstechnisch voneinander

unabhängige, Segmente unterteilt werden, die daher im Folgenden als Stall B, C und D bezeichnet werden. In jedem Segment befinden sich 48 Kühe. Der Ställe C und D sind mit Spaltenböden ausgestattet, die mit Spaltenreinigungsrobotern entmistet werden. Der Boden im Stall B ist planbefestigt und wird mittels Flüssigmistschiebern entmistet. Die Fütterung erfolgt ebenfalls über Wiegetröge mit Einzeltiererkennung.

Der Legehennenstall mit den Maßen 65 × 12 m und einem Tierbesatz von 14900 Hennen ist mit einem Voliersystem ausgestattet, bei dem die gesamte Bodenfläche als Scharraum genutzt wird.

Zur Bestimmung der Ammoniakkonzentration in der Abluft wurden an den Wind abgewandten Seiten der Ställe bzw. im Innenraum (Legehennen) kaskadenförmige Schlauchsysteme (PTFE-Schläuche mit einem Innendurchmesser von 8 mm) verlegt. Die Messpunkte (Schlauchöffnungen) wurden dabei in regelmäßigen Abständen verlegt und mit PTFE-Filtern geschützt. Über leistungsstarke Vakuumpumpen wird die Luft angesaugt und in einen Überdruckbehälter geleitet, in dem ein ständiger Luftaustausch herrscht. Aus diesem Behälter zieht das Analysegerät seine Proben. Es handelt sich hier um den Multigasmonitor 1312 (Stall A) und 1412 (Ställe B, C, D) in Verbindung mit einem Messstellenumschalter 1303 der Firma LumaSense Technologies.

Zur Ermittlung des Luftvolumenstroms findet während der Sommer- und Übergangsmomente in den Milchviehställen die Tracergas-Abklingmethode Anwendung. Hierfür wird eine definierte Menge des Tracergases SF₆ in den Stallbereich eidosiert und anhand der in der Abluft gemessenen Konzentration die Zeit bis zum vollständigen Luftaustausch gemessen. Da in den Wintermonaten die Zuluftseiten der Ställe zum Schutz der Tiere mit Folienrollos verschlossen werden, war die Anwendung dieser Methode dort nicht möglich. Für diese Zeiträume wird daher auf die Methode der CO₂-Bilanzierung zurückgegriffen. Im Legehennenstall wird der Luftvolumenstrom durch Messventilatoren an den Abluftkaminen ermittelt.

4 Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion

Milchvieh

Die Tagesmittelwerte wiesen in allen Versuchzeiträumen starke Schwankungen auf. Der Verlauf der Tagesmittelwerte für die Ammoniakkonzentration in der Messperiode Übergang (Abb. 1) zeigt deutlich, dass Kurzzeitmessungen für Ställe mit natürlicher, unregelmäßiger Lüftung nicht geeignet sind. Um einen repräsentativen Mittelwert zu erhalten, sind nach dieser Methode Messdauern von mindestens 2 Wochen anzuraten.

Anhand der Tagesverläufe der Ammoniakkonzentration können deutliche Schwankungen festgestellt und diese einzelnen „Ereignissen“ wie Melken, Homogenisieren der Gülle oder dem Weidegang zugeordnet werden. Während der Melk- und Weidezeiten, wenn alle Tiere den Stall verlassen haben, sinkt die Ammoniakkonzentration ab. Die Gangflächen des Stalles emittieren aber weiter Ammoniak, da die Reinigung mit den üblichen stationären Klappschiebern nur grob erfolgt.

Ein Versuch, die Ammoniakemission durch eine Veränderung der Schieberfrequenz zu beeinflussen, brachte in diesem Zusammenhang kein zufriedenstellendes Ergebnis. Im Stall A wurde hierzu das Reinigungsintervall auf einen 60-Minuten-Takt sowie auf einen

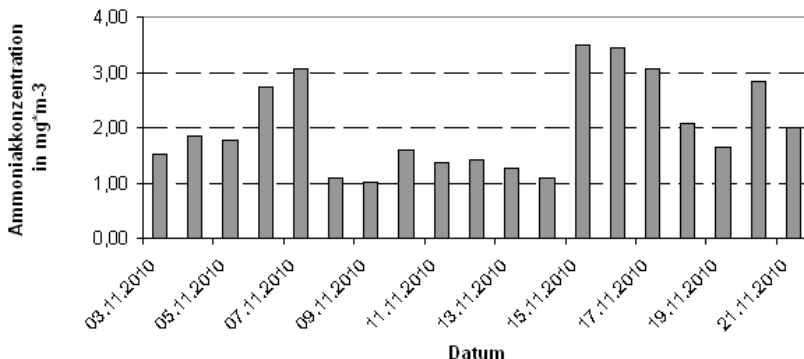


Abb. 1: Tagesmittelwerte der Ammoniakkonzentration – Übergangsmessung
 Fig. 1: Mean of daily ammonia concentration – transition period

120-Minuten-Takt während der Sommer- und Übergangsmessungen programmiert. Es konnte keine signifikante Verbesserung durch eine hohe Reinigungsfrequenz erreicht werden. Im Einzelnen wurde im Sommer eine Veränderung von $-0,2 \text{ mg m}^{-3}$ und im Übergang von $+0,15 \text{ mg m}^{-3}$ durch eine stündliche Schieberfahrt ermittelt. Um Stress bei den Tieren zu vermeiden und eine ungestörte Futteraufnahme und damit hohe Leistungen zu gewährleisten, sollte daher die Reinigung so selten wie möglich erfolgen.

Der Ammoniakgehalt der Abluft weist eine deutliche Abhängigkeit von der Jahreszeit auf (Abb. 2). Der Mittelwert der Sommermessung lag im Stall A mit $2,52 \text{ mg m}^{-3}$ am höchsten. Im Übergang wurde eine Konzentration von $2,01 \text{ mg m}^{-3}$ und während der Wintermonate von $1,59 \text{ mg m}^{-3}$ gemessen. Die Abnahme der Ammoniakkonzentration von der Sommer- über die Übergangs- bis hin zur Wintermessung ist hauptsächlich auf die Veränderung der Außen- und damit auch der Stallinnentemperatur zurückzuführen.

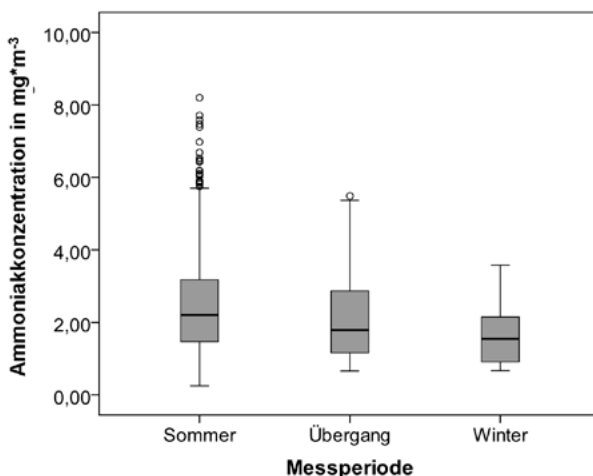


Abb. 2: Ammoniakkonzentration in der Stallabluft in Abhängigkeit von der Jahreszeit (Stall A)
 Fig. 2: Ammonia concentration in the outlet air according to season (stable A)

Die hohen Temperaturen im Sommer fördern die Ammoniakbildung und -freisetzung und damit die Emission.

Im Vergleich der Ställe (Abb. 3) ist während der Wintermessung ein vergleichsweise niedriges Niveau der Ammoniak-Abluftkonzentrationen zu erkennen. Die Ställe C und D liegen mit den Werten von 1,52 und 1,47 mg m⁻³ relativ nah beieinander.

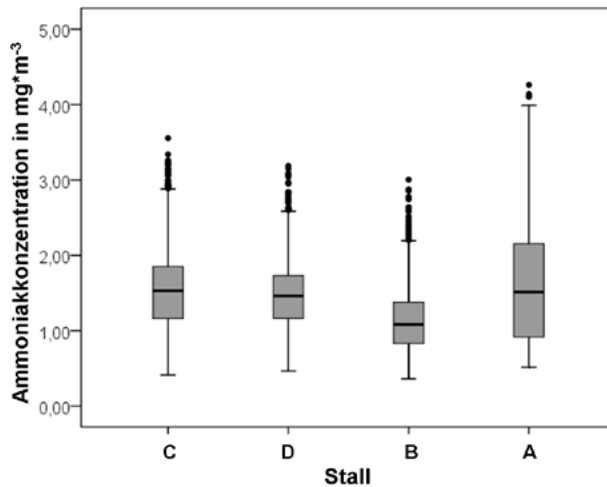


Abb. 3: Ammoniakkonzentration – Wintermessung

Fig. 3: Ammonia concentration – winter season

Der planbefestigte Stall B liegt mit einer NH₃-Konzentration von 1,13 mg m⁻³ unter den Ställen mit Spaltenboden. Dieses Verhältnis lässt erste Rückschlüsse auf den Beitrag der Bodengestaltung zum Emissionsverhalten eines Stalles zu. Es muss davon ausgegangen werden, dass sich die Unterschiede in den Ammoniakgehalten der Stallluft aus dem unter dem Stall gelagerten Flüssigmist ergeben. Eine eindeutige Trennung und Zuordnung der Teilbereiche Stall und Lagerung ist bei der Haltung auf Spaltenboden nicht möglich.

Die mittlere Konzentration im planbefestigten Stall A ist mit 1,59 mg m⁻³ höher als in Stall B. Setzt man die Werte anschließend jedoch ins Verhältnis zu den Tierzahlen, so ergibt sich ein annähernd gleiches Emissionsniveau.

Legehennen

Für den Legehennenstall mit Volierenhaltung wurde eine Wintermessung durchgeführt. Dabei wurde eine Durchschnittskonzentration von 7,39 mg (~10 ppm) ermittelt. Der beprobte Stall lag damit zwischen den von SCHNEIDER et al. (2005) und HINZ et al. (2010) ermittelten Werten von 8,4 bzw. 25 ppm.

5 Fazit und Ausblick

Aus dem Bildungsmechanismus von Sekundärpartikeln wird deutlich, dass Ammoniak eine Schlüsselrolle als Vorläufersubstanz einnimmt. Diese Untersuchung leistet einen Beitrag zur Schließung von Wissenslücken zum Emissionsverhalten von modernen Haltungsverfahren. Es zeichnet sich dabei ab, dass moderne, tierfreundliche Haltungsverfahren ein relativ hohes Emissionspotenzial aufweisen und damit im Konflikt mit den Zielen des Umweltschutzes stehen (EURICH-MENDEN et al., 2010).

Anhand der gewonnenen Emissionsdaten ist es möglich, mit geeigneten Programmen Modellkalkulationen zur Staubbildung aus den emittierten Mengen Ammoniak durchzuführen.

Die vorliegenden Daten werden mit Übergangs- und Sommermessungen in den Ställen B, C und D sowie mit einer Sommermessung im Legehennenstall ergänzt. Anhand der Luftwechsellmessungen wird abschließend der Massenstrom aus den Einzelställen berechnet.

Zusätzlich wird die Staubkonzentration in ländlichen Gebieten gravimetrisch bestimmt und mittels Ionenchromatographie auf ihre Gehalte an Ammonium, Sulfat und Nitrat hin analysiert. Die Größenverteilung der Staubpartikel wird dabei begleitend mit einem Kondensationspartikelzähler gemessen, mit dem es möglich ist, auch Partikel im Nanometer-Bereich zu erfassen. Die Messung soll Anhaltspunkte zum Gehalt der Luft an sekundären Aerosolen im ländlichen Raum liefern. Die ersten Ergebnisse liegen bis zum Herbst 2011 vor.

Literatur

- Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Van den Weghe, H. (2010): Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar – Teil 1: Milchvieh. *Landtechnik* 65 (6), S. 434–436
- Hinz, W.; Winter, T.; Linke, S. (2010): Luftfremde Stoffe in und aus verschiedenen Haltungssystemen für Legehennen – Teil 1: Ammoniak. *Landbauforschung-vTI Agriculture and Forestry Research* 3 (60), 139–150
- Lohmeyer, A.; Bächlin, E.; Kuhlbusch, T.; Dreiseidler, A.; Baumbach, G.; Giesen, K.-P.; Müller, W.J.; Klasmeier, E.; Schmidt, H. (2003): Aerosolbudget in einem landwirtschaftlich geprägten Gebiet in Niedersachsen. 3. Materialienband für Maßnahmen nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Hannover
- Platt (2003): Skript zur Vorlesung Atmosphärenphysik SS 03. www.iup.uni-heidelberg.de/institut/studium/lehre/Atmosphärenphysik/skript2/Aerosole/pdf, Zugriff am 27.10.2009
- Schneider, F.; Eichelser, R.; Nesor, S.; Haidn, B.; Gronauer, A.; Schierl, R.; Egger, U. (2005): Arbeitsschutz und Emissionen: es liegt was in der Luft. *DGS-Magazin* 26, 14–17

Feinstaubkonzentrationen in Mastschweinställen

Fine dust concentrations in fattening pig houses

JESSICA HENSELER-PASSMANN, LISA STERNBERG, BENEDIKT NIEHAUS, WOLFGANG BÜSCHER

Institute of Agricultural Engineering, Section Livestock Technology, Bonn University, Nußallee 5, 53115 Bonn

Schlüsselwörter: Feinstaub, Staubverteilung, Tagesgänge, Umweltwirkungen, Emissionen

Keywords: dust, dust distribution, daily variations, environmental impacts, emissions

Zusammenfassung

In typischen Mastschweinställen wurden Feinstaubuntersuchungen im Innenraum durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgte eine Rastermessung in den untersuchten Ställen. Anhand eines Farb-Kontur-Diagramms konnten die Iso-Konzentrationsfelder im Raum verdeutlicht werden. Eine Homogenitätsanalyse zeigte, dass der Feinstaub im Raum nicht gleich verteilt ist.

Ferner wurde an vier aufeinanderfolgenden Tagen kontinuierlich über 24 Stunden die Feinstaubkonzentration im Innenraum mittels Aerosolspektrometer erfasst. Eine stationäre Videoaufzeichnung ermöglichte eine Zuordnung der Ereignisse im Stall. Besonders deutlich war der Anstieg der Feinstaubkonzentration zu den Fütterungs- und Kontrollzeiten.

Summary

The fine dust concentration in the interior of fattening pig houses was analysed. In the first step a load profile of fine dust of the animal houses was generated. With the help of colour-contour-diagrams the iso-concentration-areas in the interior were clarified. The analysis of homogeneity showed that the fine dust concentration in the interior is not equally distributed.

Furthermore fine dust concentration was measured continuously over 24 hours in the interior of five different fattening pig houses with two aerosolspectrometer on four consecutive days. A stationary video recording allowed an assignment of events in the barn. A striking feature is the increase of fine dust concentration during feeding and patrol.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund eines gesteigerten Tierschutz-Bewusstseins in der Gesellschaft, einer kritischen Berichterstattung über zunehmende Stallstauballergien von Tierhaltern und über rechtliche Umweltprobleme im Nahbereich von Stallanlagen, sollte den Staubbelastungen im Stall mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die vorliegende Untersuchung vergleicht verschiedene Schweinemastställe hinsichtlich der Feinstaubkonzentration im Innenraum. Ferner sollen besonders stark belastete Bereiche im Stall ausfindig gemacht werden. Hierdurch können Reduktionspotenziale herausgearbeitet werden.

Weiterhin soll anhand von wiederholten Tagesgang-Untersuchungen erörtert werden, ob die Feinstaubkonzentration im Stall tageszeitlichen Schwankungen unterliegt.

2 Stand des Wissens

Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung der Stallstäube ist es schwierig, den Ursprung des Staubes auf nur eine Quelle zu reduzieren. Vielmehr gibt es eine Reihe von Faktoren, die als Staubquelle dienen. In der Literatur werden die heterogene Zusammensetzung und die Herkunft des Schweinestallstaubes wie folgt beschrieben:

- 80–90 % des Schwebstaubes setzt sich aus Futter zusammen (PEARSON und SHARPLES, 1995).
- 55–68 % besteht aus Einstreu (SEEDORF und HARTUNG, 2002).
- 2–12 % ist auf die Tiere selbst zurückzuführen, z.B. Hautschuppen oder Haare (SEEDORF und HARTUNG, 2002).
- 2–8 % des Staubes stammt aus den Fäkalien (HARTUNG, 1986).
- Ein sehr geringer Anteil im Stallstaub beruht auf Partikeln, die von außen in den Stall hineingetragen werden (DAWSON, 1990).

Die Luftqualität in Stallgebäuden hat einen hohen Stellenwert. Durch ein richtiges Lüftungssystem werden zum einen Schadstoffe abtransportiert, zum anderen werden Luftfeuchtigkeit und Wärme reguliert. Betrachtet man stallklimatisch den Einfluss des Luftvolumenstroms, wird deutlich, dass mit höheren Luftwechselraten im Sommer zwar niedrigere Feinstaubkonzentrationen im Innenraum, aber höhere Emissionsfrachten erreicht werden als im Winter (NANNEN und BÜSCHER, 2007).

Einen weiteren wichtigen Einfluss auf die Feinstaubkonzentration im Stall hat die Fütterung. Hier kommt es zu erhöhten Belastungen während der Fütterungszeiten (COSTA et al., 2009b; NANNEN und BÜSCHER, 2007). Die Futterkonsistenz ist ebenfalls bedeutend. Die Flüssigfütterung verursacht im Vergleich zur Trockenfütterung eine um 20 % geringe Staubbelastung (PEDERSEN, 2004; SEEDORF und HARTUNG, 2002). Futtermehle sind hierbei die größten Staubverursacher. Pellets liegen hinsichtlich der Belastung zwischen Flüssigfütterung und Futtermehlen (SEEDORF und HARTUNG, 2002).

Die Tieraktivität beeinflusst in starkem Maße die Feinstaubkonzentration im Stall. Der Tag-Nacht-Rhythmus der Tiere spiegelt sich analog in den Feinstaubbelastungen wider (COSTA und GUARINO, 2009a; COSTA et al., 2009b; SEEDORF und HARTUNG, 2002).

Richtet man den Blick auf die Feinstaubbelastung in Abhängigkeit der Tierzahl, so wird deutlich, dass mit steigender Tierzahl die Feinstaubbelastung proportional ansteigt (PEDERSEN, 2004). Arbeiten im Stall, wie beispielhaft Entmisten oder Kontrollgänge, tragen ebenfalls zu einer leicht erhöhten Feinstaubbelastung bei (NANNEN und BÜSCHER, 2007).

Bei eingestreuten Systemen sind die Feinstaubkonzentrationen wesentlich höher. Während des Einstreuens kommt es zu einer enormen Steigerung der Konzentration (HAEUSSERMANN, 2006; HENSELER-PASSMANN, 2010; PEDERSEN, 2004)!

3 Material und Methode

In der vorliegenden Arbeit wurden fünf Mastschweinställe, die sich hinsichtlich ihres baulichen Konzepts und der Zuluftführung unterscheiden, untersucht (Tab. 1).

Die Feinstaubkonzentration im Innenraum wurde mit zwei 15-Kanal-Aerosolspektrometern (Modell 1 108 der Firma Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG) bestimmt. Die Versuche wurden nach den VDI Richtlinien 2463 und 2066 durchgeführt. Positioniert waren die Messgeräte zum einen im Schweinebereich und zum anderen im Bereich des Kontrollganges. Hierdurch sollte die Fragestellung geklärt werden, inwiefern es Unterschiede zwischen den beiden Bereichen gibt. Die Aerosolspektrometer zeichneten 15 verschiedene Größenklassen von $>0,3$ bis $>20,0 \mu\text{m}$ auf. Das Messintervall betrug eine Minute.

Weiterhin wurden Versuche zur Homogenität der Feinstaubbelastungen im Raum durchgeführt. Hierzu wurden zwei parallele Messlinien in Längsrichtung des Stalles bestimmt. Auf diesen Messlinien wurden zehn Messpunkte in gleichmäßigen Abständen verteilt. An den einzelnen Messpunkten wurden die Aerosolspektrometer installiert und verblieben dort für jeweils zehn Minuten. Die Aerosolspektrometer zeichneten die Messdaten in einem Intervall von sechs Sekunden auf. Die Partikelmassenkonzentration der 15 Größenklassen wurde zu $\text{PM}_{\text{Gesamt}}$ zusammengefasst. Die $\text{PM}_{\text{Gesamt}}$ -Werte der Partikelmassenkonzentration wurden in Abhängigkeit der Messpunkte zu einer Matrix konvertiert. Anhand von Kontur-Farbdiagrammen wurde eine Übersicht der Feinstaubbelastung im Innenraum ermöglicht.

Zusätzlich wurden im Stall zwei Dome-Kameras der Firma Gutkes GmbH, Hannover installiert. Anhand der Videoüberwachung im Stall konnten die Ereignisse im Stall präzise zugeordnet werden.

Tab. 1: Charakterisierung der untersuchten Mastschweineställe
 Tab. 1: Characterization of the investigated fattening pig houses

	Stall 1	Stall 2	Stall 3	Stall 4	Stall 5
Untersuchungszeitraum	01.-05.09.2010	06.-10.09.2010	10.-14.09.2010	01.-04.10.2010	06.-10.10.2010
Tierzahl	10	160	120	181	143
Ø Gewicht (kg)	105	95	70	91	42
Lüftung	frei	Rieselkanallüftung	Ganglüftung	Strahl-lüftungssystem	Türgang-lüftung
Aufstallung	Tieflaufstall (Stroh)	Vollspaltenboden	Vollspaltenboden	Vollspaltenboden	Vollspaltenboden
Fütterung	Trockenfutterautomat (Fa. Brösel)	Breifutterautomat (Fa. Brösel)	Breifutterautomat (Fa. Brösel)	Flüssig am Quertrog (Fa. Big Dutchman)	Flüssig am Quertrog (Fa. Big Dutchman)
Ammoniak (ppm)	17,7	5,0	4,2	5,3	5,5
Innenraumtemperatur (°C)	18,0	25,1	25,0	23,8	23,3

4 Ergebnisse

Durch die Videoüberwachung der Abteile konnten die Tieraktivitäten sowie die Kontrollzeiten beobachtet werden. Bei der späteren Auswertung der Partikelmassenkonzentrationen im Stall wurden die „Ereignisse“ im Stall den Konzentrations-Peaks zugeordnet (Abb. 1).

Abbildung 1 stellt exemplarisch den Tagesverlauf der Partikelmassenkonzentration für die Größenklassen PM_{2,5}, PM₁₀ und PM_{Gesamt} in der Übergangszeit für Stall 4 dar.

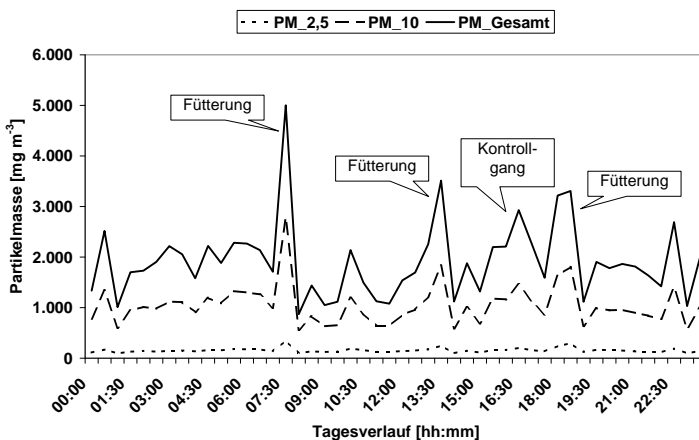


Abb. 1: Tagesgang mit Belastungsspitzen der Partikelmassenkonzentration in $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ im Mastschweinestall

Fig. 1: Daily course of a fattening pig house with load peaks of particle mass concentration in $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

Die abgebildeten Verläufe bestehen aus den errechneten Halbstundenmittelwerten der Feinstaubkonzentrationsmessung. Hervorzuheben ist, dass zu den Fütterungszeiten (07:30 Uhr, 13:30 Uhr und 18:30 Uhr) die höchsten Konzentrationen erreicht wurden.

Weiterhin wird deutlich, dass der Kontrollgang zwischen 16:30 Uhr und 17 Uhr ebenfalls zu sehr hohen Feinstaubkonzentrationen im Stall führte.

Richtet man den Blick auf die drei Größenklassen $PM_{2,5}$, PM_{10} und PM_{Gesamt} , können – wie erwartet – Unterschiede zwischen den einzelnen Fraktionen ausgemacht werden. Dies wird besonders bei den stark ausgeprägten Peaks in den Nachmittagsstunden deutlich. Hierbei nimmt die Größenklasse $PM_{2,5}$ den geringsten Anteil am Gesamtstaub ein.

Abbildung 2 stellt ein Kontur-Farbdiagramm zur Überprüfung der Homogenität von Feinstaub im Raum dar. Stall 3 hat fünf Buchten und insgesamt Platz für 120 Schweine. Die Futterganglüftung verläuft zentral entlang der Längsachse. Abgesaugt wird die Luft an der kurzen Seite mit jeweils einem Ventilator in der rechten und linken Bucht. Die höchste Partikelmassenkonzentration zeigt sich im Bereich der Frischluftzufuhr und im Bereich der beiden Ventilatoren. Bei Messpunkt acht befindet sich auf dem Gang eine Entnahmestelle für Trockenfutter.

Die täglichen Kontrollgänge sowie die Fütterungszeiten bewirken einen Anstieg der Partikelmassenkonzentration im Innenraum. Anhand des Kontur-Farbdiagramms wird deutlich, dass in den Ställen keine homogene Feinstaubkonzentration vorliegt. Vielmehr kommt es zu höheren Konzentrationen im Bereich der Fütterungsanlagen und der Ventilatoren.

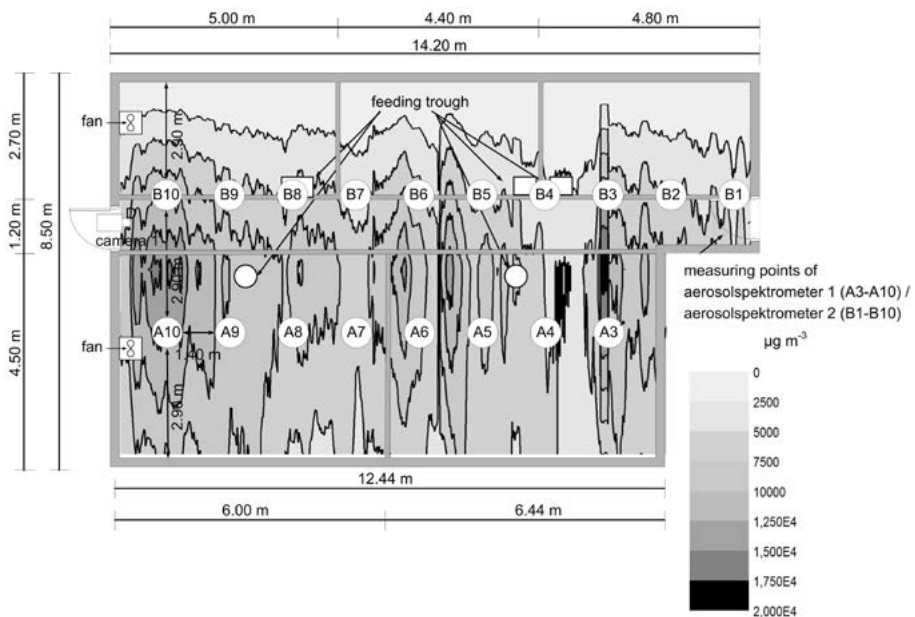


Abb. 2: Untersuchung zur Homogenität der Feinstaubbelastung im Mastschweinestall
 Fig. 2: Analysis of homogeneity of fine dust concentration in fattening pig house

5 Diskussion

TOPISIROVIC und RADIVOJEVIC (2002) stellten heraus, dass die Aktivität der Tiere einen großen Einfluss auf die Partikelmassenkonzentration hat. Dies kann durch die eigenen Untersuchungen bestätigt werden. Anhand der Videoauswertungen wurde sichtbar, dass besonders zu den Kontroll- und Fütterungszeiten die Tieraktivität zunahm und somit auch die Feinstaubkonzentration im Stall anstieg. Besonders beim Ausstallen der Schweine wurden die Tiere extrem aktiv, wodurch die Feinstaubkonzentration erheblich anstieg.

COSTA et al. (2009b) belegen eine verringerte Aktivität der Tiere in der Nacht und eine gesteigerte Aktivität am Tage. Besonders deutlich konnte diese Beobachtung anhand der Videoaufzeichnungen belegt werden. Gleichzeitig mit dem Einschalten des Lichts in den frühen Morgenstunden begann die Aktivität der Schweine.

Literatur

- Costa, A.; Guarino, M. (2009a): Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. *Atmospheric Environment* 43, 1548–1556
- Costa, A.; Borgonovo, F.; Leroy, T.; Berckmans, D.; Guarino, M. (2009b): Dust concentration variation in relation to animal activity in a pig barn. *Biosystems Engineering* 104, 118–124
- Dawson, J. R. (1990): Minimizing dust in livestock buildings: Possible alternatives to mechanical separation. *J. agric. Engng. Res.* 47, 235–248
- Haeussermann, A. (2006): Minderungsmaßnahmen in der Mastschweinehaltung. In: Emissionen der Tierhaltung. Tagung Bildungszentrum Kloster Banz, 5.–7.12.2006, 192–210
- Hartung, J. (1986): Dust in livestock buildings as a carrier of odours. In: Nielsen, V. C.; Voorburg, J. H.; L'Hermite, P. (Hrsg.): *Odour prevention and Control of organic sludge in livestock farming*, Elsevier, London, 321–332
- Henseler-Paßmann, J. (2010): Untersuchungen zur Emission und Transmission von Feinstäuben aus Rinderställen“. Dissertation, Universität Bonn, VDI-MEG Schrift 490, ISSN 0931-6264
- Nannen, C.; Büscher, W. (2007): Particle emissions from German livestock buildings – influences and fluctuation factors. In: *Particulate Matter in and from Agriculture*. FAL Sonderheft 308, Braunschweig, 39–44
- Pearson, C. C.; Sharples, T. J. (1995): Airborne dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. *J. agric. Engng. Res.* 60, 145–154
- Pedersen, S. (2004): Maßnahmen zur Minderung der Partikelbelastung in Ställen. In: *Luftgetragene biologische Belastungen und Infektionen am Arbeitsplatz Stall*. Darmstadt, KTBL, 174–181
- Seedorf, J. ; Hartung, J. (2002): *Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung*. KTBL-Schrift 393, KTBL-Verlag, Darmstadt

- Topisirovic, G.; Radivojevic, D. (2002): Influence of ventilation systems and related energy consumption on inhalable dust concentrations in fattening pigs confinement buildings. *Energy and buildings* 37, 1241–1249
- VDI-Richtlinie 2066, BLATT 1 (1975): Messungen von Partikeln – Staubmessungen in strömenden Gasen - Gravimetrische Bestimmung der Staubbeladung – Übersicht. Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag, Berlin
- VDI-Richtlinie 2463, BLATT 1 (1999): Messen von Partikeln – Gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft – Grundlagen. Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag, Berlin

Reduzierung von Emissionen und Förderung der Tiergesundheit in der Schweinehaltung durch Kombination von intelligenter Luftführung und Filtertechnik

Reduction of emissions and supply of animal health in pig husbandry by combination of intelligent air guidance and filter technology

MICHAEL MUSSLICK¹, KARL-HEINZ KRAUSE², ANDREAS KERSENS³

¹ Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Beethovenstraße 3, 99096 Erfurt

² Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

³ Big Dutchman International GmbH, Auf der Lage 2, 49377 Calveslage

Schlüsselwörter: Stallklima, Luftführung, Emissionen, Ammoniak, Simulationen
 Keywords: stall climate, air guidance, emissions, ammonia, simulations

Zusammenfassung

Gestiegene Anforderungen in der Schweinehaltung an den Umweltschutz in Verbindung mit einer tendenziell sinkenden Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der Tierhaltung haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass Abluftreinigungssysteme immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit treten. Abluftreinigungssysteme sind zwar technisch in der Lage die Belange des Umweltschutzes zu erfüllen, werden aber im Hinblick auf die Folgekosten für den Landwirt und die Folgen für das Tier häufig kritisch hinterfragt. Gelingt es jedoch dem Tierhalter eine technische Lösung zu liefern, die die verfahrensbedingten Investitions- und Investitionsfolgekosten um mehr als die Hälfte reduziert und dabei gleichzeitig das Stallklima optimiert, so kann man davon ausgehen, dass mit dieser technologischen Lösung allen geholfen ist: dem Tier, der Umwelt und dem Tierhalter.

Summary

Increasing demands on environmental protection in connection with a tendency to decreasing acceptance to animal husbandry let cleaning systems come more and more into the focus of the public opinion in the last years. From the technical point of view exhaust air purifications are able to fulfill the concern of environmental protection, but with respect to the consequential costs for the farmer and the loads of the animals are critically analyzed very often. If a technical solution can be offered to the livestock owner to be half the price of investigations and the consequential costs and optimizing the stable climate at the same time then it can be assumed that this technical solution can help the animal, the environment and the livestock owner.

1 Einleitung

Die internationalen Vereinbarungen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung lassen sich realisieren, wenn man z.B. die Luftführungskonzepte in der Tierhaltung ändert und/oder Filtersysteme installiert. Sicher ist in jedem Fall, dass die Anforderungen an den Umweltschutz gestiegen und die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der Tierhaltung tendenziell gesunken sind. Abluftreinigungssysteme rücken dabei immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Die Landwirte schauen dabei kritisch auf die verfahrensbedingten Investitionsfolgekosten. Das KTBL beziffert die Gesamtkosten für Abluftreinigungssysteme in der KTBL-Schrift 451 (2006) mit bis zu fünf Euro pro erzeugtem Mastschwein. Ziel ist die Entwicklung kostensparender und tiergerechter Verfahren. In der nachfolgend angewandten Methodologie wird eine intelligente Luftführung im Stall mit einer dezentralen Filtereinrichtung verknüpft. Bei der Firma Big Dutchman firmieren diese Elemente unter dem Namen SmartAir und HelixX.

2 Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen

Stalllüftungskonzepte potenzieren sich in ihren Auswirkungen an Großanlagen der Tierhaltung zwangsläufig in einem größeren Ausmaß als an Einzelanlagen auf einem Bauernhof herkömmlicher Prägung. Die Sorge um Fehlinvestitionen erklärt die Bereitschaft, weiterführende Untersuchungen an Großanlagen eher in Angriff zu nehmen als an Einzelbetrieben. Die Stallphysik bleibt davon unberührt. Sie ist dieselbe. Wenn man zu neuen Erkenntnissen kommen will, muss man Veränderungen an Stallsystemen vornehmen und ihre Auswirkungen messtechnisch erfassen. Nur wer misst, ist der Wahrheit auf der Spur. Messungen im Bereich der Tierhaltung sind allerdings nicht ganz unproblematisch, da die Randbedingungen sehr „unsauber“ sind. Wie in (DESTA et al., 2004) veröffentlicht, gelingt der direkte messtechnische Nachweis, dass z.B. die Emissionen

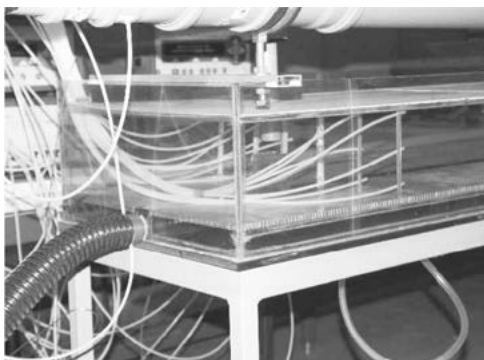


Abb. 1: Modellstall im Maßstab 1:20. Zu sehen sind die Absaugschläuche für Ammoniak oberhalb des Spaltenbodens (MÜLLER et al., 2007)

Fig. 1: Model stable on the scale of 1:20. To be seen are the suction tubes for ammonia above of the slatted floor

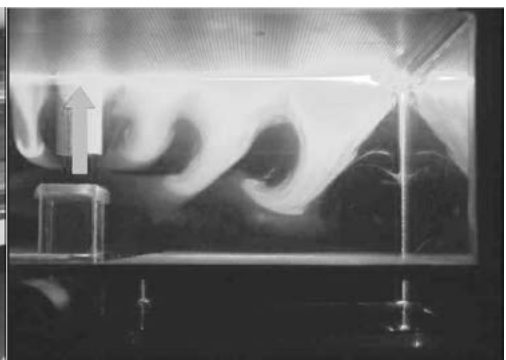


Abb. 2: Laserlichtschnitt von Rauchgas, das durch die Porendecke zum Abluftschacht (grauer Pfeil) gesaugt wird (MÜLLER et al., 2007)

Fig. 2: Laser light cut of smoke gas sucked through the pore ceiling into the (purple arrow) off-gas duct

von der Tiermasse abhängen, nur mit einer Sicherheit bis zu 80 %. Wenn man nun weit differenzierter Aussagen zum Emissionsverhalten in einem Stall treffen will, muss man sich die Frage gefallen lassen, wie aussagekräftig die Punktmessungen vor Ort im Originalsystem sind. Es liegt nahe, auf physikalische Modelle in verkleinertem Maßstab überzugehen. Im Labor hat man das Emissionsgeschehen besser „im Griff“ als vor Ort. Man kann eher flächendeckende Aussagen treffen (Abb. 1), z. B. im Hinblick auf Ammoniakkonzentrationen in einem Stallquerschnitt. Man kommt zu allgemeinen Aussagen, die im Originalstall kaum zu gewinnen sind. Es lassen sich Verhaltensmuster aufzeigen (Abb. 2), die zum Allgemeinverständnis des Emissionsgeschehens beitragen (WEINKAUF et al., 2004). Hier ist beispielhaft gezeigt, wie bei einer Oberflurabsaugung Partikel zum Abluftschacht gelangen. Mit der Maßstabsverkleinerung sind allerdings Einschränkungen im Hinblick auf die Ähnlichkeitsmechanik verbunden (WEIHS et al., 2006).

Anders ist es bei der dritten Form der Erfassung der physikalischen Abläufe, und zwar der numerischen Darstellung der Strömungsabläufe, bei der die Restriktionen in der Auflösung des Strömungsraumes liegen. Mit den numerischen Simulationen kann man die Untersuchungsergebnisse im verkleinerten physikalischen Modell „nachfahren“ und auch die Messergebnisse im Originalstall. Was heißt das nun? Wenn die Numerik in der Lage ist, in welcher Stallgröße auch immer, die vorgegebenen Geschehnisse abzubilden (in Abb. 3 und Abb. 4 werden die Modellversuche mittels numerischer Simulationen überprüft), dann kann sie auch vorhersagen, was bei bestimmten Veränderungen vor

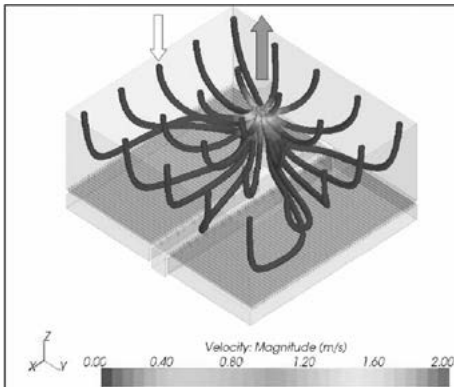


Abb. 3: Partikel, die von der Stalldecke aus gestartet werden, bewegen sich in Stromröhren durch den Stallraum. Frischluft (weißer Pfeil) wird über eine Porendecke in den Stall gesaugt (Oberflurabsaugung) und über einen Ventilator zentral nach draußen verblasen (grauer Pfeil), vergleiche hierzu Abb. 2

Fig. 3: The particle which starts from the ceiling moves through the stable space in streamtubes. Fresh air (white arrow) is sucked through the pore ceiling into the stall (over floor suction) and is thrown out by a central fan (grey arrow), compare fig. 2

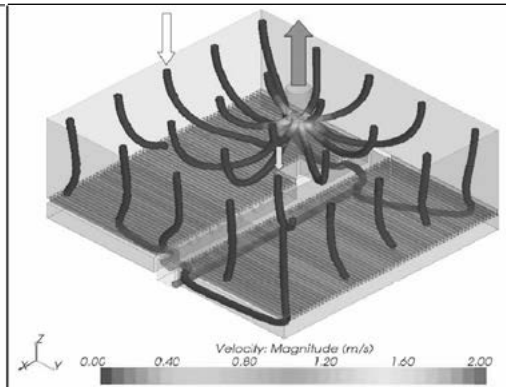


Abb. 4: Zu der Oberflurabsaugung (85 %) tritt eine Unterflurabsaugung (15 %) hinzu. Partikel gelangen wegen der gleichgerichteten Luftströmung vermehrt an die Randzonen (kleiner Pfeil) in den Unterflurbereich als unterhalb der Ventilatoren. Die Unterflurabsaugung erfolgt durch einen zentralen Unterflurkanal

Fig. 4: To the suction over floor (85 %) an under floor suction (15 %) is added. Particles reach the under floor area much more at the border zones (little arrow) than underneath the ventilator. The under floor suction occurs by a central under floor channel

Ort geschehen wird. Das bedeutet, dass die numerische Simulationstechnik ein konstruktives Mittel ist, Stallauslegungen vorzunehmen. Die numerische Strömungsmechanik muss sich nicht selbst beweisen, sondern die Stallauslegungen durch Lüftungsfirmen nach ihren individuellen Konzepten müssen sich einer generellen Überprüfung nach den angestrebten Zielen Umweltschutz, Tiergesundheit und Energieeffizienz unterwerfen.

3 Praktische Umsetzung und Ergebnisse

Es ist bereits heute möglich, aus einem belasteten Luftstrom, der die Tierhaltung auf dem Wege der Zwangslüftung verlässt, umweltbelastende Stoffe herauszufiltern. Diese Vorgehensweise verlangt im herkömmlichen Einsatz eine Erhöhung des Energieeinsatzes. In dem Verfahren, wie es hier vorgestellt wird, kann auf den Filtereinsatz zwar auch nicht verzichtet werden, aber der durchgesetzte Massenstrom der Luftbeimengungen beschränkt sich auf die Winterlufrate. Die Änderung der Quellenkonzentration stellt zweifelsfrei die wirkungsvollste und nachhaltigste Maßnahme zur Emissions- und damit zur Immissionsminderung dar. Hier geht es um ein Verfahren zum Be- und Entlüften eines Stalles, bei dem die Frischluftzufuhr und auch die Abfuhr der mit u. a. luftfremden Stoffen und Wärme befrachteten Stallluft über Kanäle an der Decke erfolgt (KRAUSE et al., 2007). Die gleichzeitig unter dem Spaltenboden abgesaugte Luft, die den Stoffübergang von Ammoniak und Geruchsstoffen in den Stallraum erheblich beeinflusst, wird einem Filter zugeführt. Das Besondere an dem Verfahren besteht darin, dass die unter dem Stall abgesaugte Luft nur einen Teil der Luftmenge (KRAUSE et al., 2009) ausmacht, die insgesamt aus tierphysiologischen Gründen die Luftwechselrate im Stall bestimmt. Normalerweise wird die gesamte im Stall umgewälzte Luft einem Filter zugeführt.

Hier ist es nur der Teil, der unterhalb des Spaltenbodens abgesaugt wird. Der oberhalb des Spaltenbodens anfallende Anteil an Kontaminationen wird ungefiltert in die Umwelt abgegeben. Durch das Einbringen von Linienquellen unterhalb der Stalldecke oder an den Seitenwänden und Liniensenken unterhalb der Stalldecke oder an den Seitenwänden werden einfache Strömungsfelder von den Einlassschlitzen zu den Auslassschlitzen aufgebaut. Damit ist über die gesamte Abteilbreite bzw. -länge, je nach Ausrichtung der Haltungsboxen, ein vergleichmäßigt Geschwindigkeitsfeld des Trägermediums Luft mit seinen Inhaltsstoffen gewährleistet. Dieser Gedanke der kontrollierten Erzeugung eines Strömungsfeldes findet seine Fortsetzung in der Optimierung der Zuluft- und Ablufteinrichtungen hinsichtlich Lokalisierung im Stall und Dimensionierung, ausgerichtet an der Minimierung des Austrages von ammoniakbefrachteter Stallluft. Eine Luftführung gilt als optimal, wenn der emittierte Massenstrom an Ammoniak möglichst klein wird. Dieses ist der erste Schritt der Optimierungsstrategie. Er fällt in die Planungsphase. In der Planungsumsetzung bedeutet dieses, dass Ammoniak vermehrt im Flüssigmist verbleibt und nicht in den Stallraum gesogen wird. Der zweite Schritt besteht in einer Absaugung der Stallluft unter dem Spaltenboden (Abb. 5).

Das in einer Schweinemast wochenweise getestete Lüftungssystem ist auch in Laboruntersuchungen Prüfungen unterzogen worden, bevor es in zwei Anlagen implementiert werden konnte. Die im Stallraum oberhalb des Spaltenbodens ermittelte Ammoniakkonzentration erreicht Maximalwerte um 4 ppm, wenn die Oberflurlüftung mit eingeschaltet

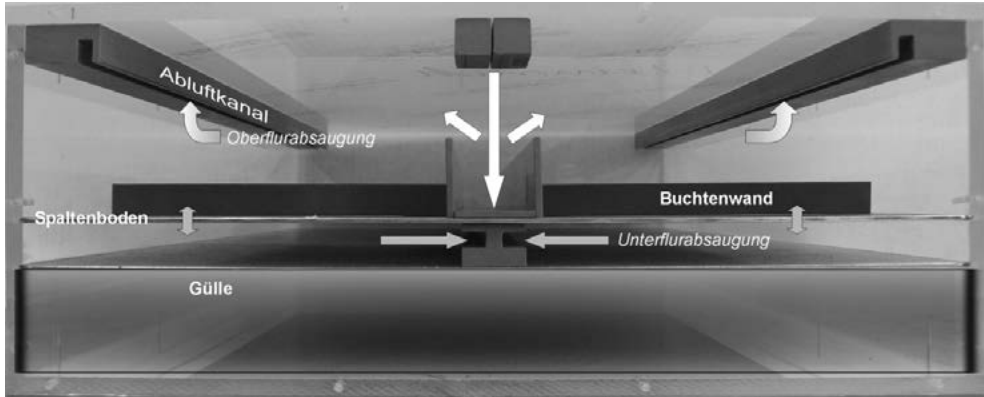


Abb. 5: Die Stallluft wird über Kanäle unter der Stalldecke abgesaugt. Frischluft strömt deckenseitig über den Einlasskanal zu. Unterhalb des Spaltenbodens wird stallmässig die Luft über die Gülle abgesaugt und einem Filter zugeführt. Es bleibt bei der Breite des Spaltenbodens und der Druckverteilung nicht aus, dass oberhalb des Spaltenbodens auch Luft aus dem Bereich unterhalb des Spaltenbodens angesaugt wird

Fig. 5: The air of the stable is sucked out through channels located under the ceiling. Fresh air flows into the room through an inlet channel also located under the ceiling. Under the slatted floor the stable air is sucked over the manure into a channel and then transported to a filter. Because of the width of the slatted floor and the pressure distribution it is not fail that air is sucked from the area under the slatted floor into the area above the slatted floor

ist. Bei der Winterluft rate reduziert sich der Konzentrationswert auf 2 ppm, wobei der Abluftstrom einem Filter zugeführt wird. Abbildung 6 zeigt den Aufbau der untersuchten Anlage und Abbildung 7 Messergebnisse aus dem laufenden Betrieb. Der kontinuierlich unter Flur abgesaugte und gefilterte Massenstrom an Ammoniak führt zusammen mit dem über Flur ohne Filterung freigesetzten Massenstrom zu einem Gesamtwirkungsgrad von bis zu 70 %. Außerdem sinken die stallinternen Schadgaskonzentrationen erheblich. Die europaweit erste Tierhaltungsanlage wurde in dieser Kombination im Jahre 2011 in Thüringen installiert. Idealerweise wird das SmartAir-Konzept mit einer dezentralen Abluftreinigung verknüpft, um die Investitionskosten für die sonst übliche zentrale Abluftführung der zu filternden Abluft so weit wie möglich zu reduzieren. Die HelixX ist ein von Big Dutchman neu entwickelter dezentraler Abluftwäscher, der ohne

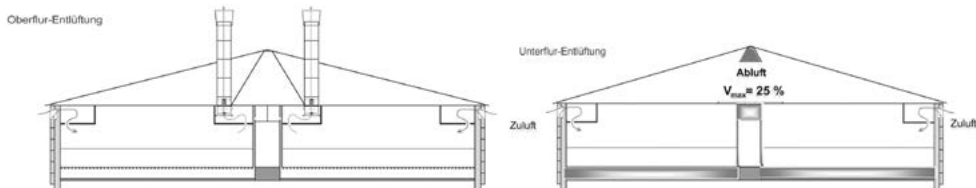


Abb. 6: Schematische Darstellung des untersuchten Stalles. Links: Teilabsaugung oberflur. Rechts: Teilabsaugung unterflur

Fig. 6: Schematic presentation of the examined stable. At the left: partial suction over floor, at the right: partial suction under floor

Füllkörper die Abluft von Ammoniak und Staub befreit. Dadurch ist die HelixX (Abb. 8) nahezu wartungsfrei und bietet neben der flexiblen Gestaltung der Abluftführung auch den Vorteil von Notlüftungseigenschaften.

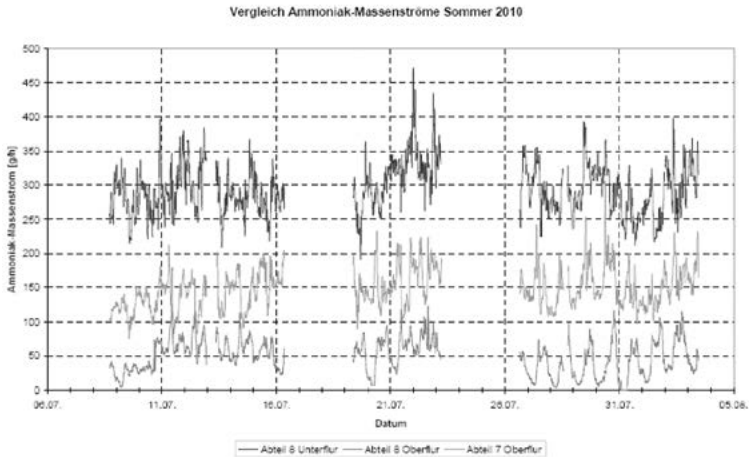


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf des Ammoniak-Massenstromes im Versuchsabteil (obere Kurve: unterflur, untere Kurve: oberflur) und im Vergleichsabteil (mittlere Kurve)

Fig. 7: Temporal course of the ammonia stream mass in the compartment of investigation (the upper graph: under floor, the lower graph: over floor) and in the stable of comparison (the middle curve)

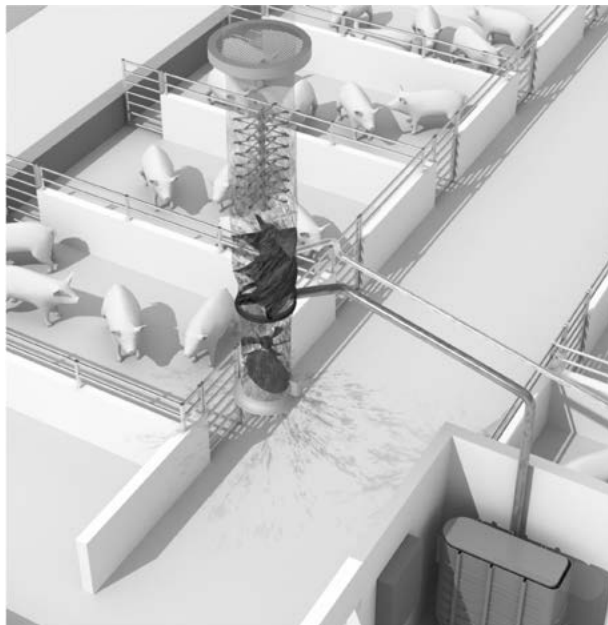


Abb. 8: HelixX-System als neu entwickelter Abluftwäscher in Verbindung mit der SmartAir Konzeption

Fig. 8: HelixX system as new developed exhaust air scrubber in connection with the smart air concept

In der aufgezeigten Kombination ergeben sich folgende Vorteile:

- Verbesserte Wirtschaftlichkeit von Abluftreinigungssystemen. Die geminderten Investitions- und Investitionsfolgekosten reduzieren sich für den Landwirt auf bis zu 50 %.
- Verbessertes Stallklima. Durch die intelligente Luftführung im Stallabteil werden erheblich weniger Schadgase (NH_3) im Bereich der Tiere freigesetzt.
- Gezielter Umweltschutz. Das SmartAir-Konzept mindert erheblich die Emissionen und erzeugt somit weniger Immissionen.

4 Ausblick

Strömungssimulationen dienen als Grundlage zur Beschreibung des Emissionsgeschehens in einem Stall mit den entsprechenden Auswirkungen nach draußen. Mag es auch kompliziert sein, so lassen sich doch Aussagen zum Verbleib von luftgetragenen Stoffen treffen. Es interessieren Ammoniak, Geruchsstoffe, Keime und Staub. In den Simulationen wird aus messtechnischen Gründen ausschließlich auf Ammoniak abgehoben. Wenn man weiß, wie sich Ammoniak im Stall verteilt, dann kann man auch konstruktiv Einfluss auf die Ammoniak- und Geruchsverteilung nehmen (KRAUSE et al., 2005). Nur so wird es uns gelingen, auf die stetig wachsenden Anforderungen des Tier- und Umweltschutzes und auf die Belange der Öffentlichkeit zu reagieren bzw. werden wir zukünftig technologische Lösungen den Tierhaltern anbieten können, die es ihnen ermöglichen, nachhaltig zu wirtschaften.

Literatur

- Desta, T. Z.; van Buggenhout, S.; van Brecht, A.; Meyers, J.; Aerts, J.-M.; Baelmans, M.; Berckmans, D. (2004): Modelling mass transfer phenomena and quantification of ventilation performance in a full scale installation. *Building and Environment*
- Krause, K.-H.; Linke, S.; Mußlick, M. (2005): Computergestützte Simulation einer raumlufttechnischen Anlage für einen Schweinemaststall mit 2000 Tierplätzen zwecks Optimierung wichtiger Stallklimafaktoren und Minimierung von Ammoniakfreisetzung. 7. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 1.-3. März 2005 in Braunschweig, KTBL, 289-294
- Krause, K.-H.; Linke, S.; Müller, H.-J.; Mußlick, M. (2007): Distribution of ammonia in swine houses at emission reduction. In: *Ammonia emissions in agriculture*, Monteny, G.-J. und E. Hartung (Hg.), Wageningen, 134-135
- Krause, K.-H.; Mußlick, M.; Linke, S.; Müller, H.-J. (2009): A new method of ammonia and odour reduction by partial underfloor filtration in swine houses. XXXIII CIOSTA-CIGR Section V Conference and IUFRO Workshop Reggio Calabria (Italy), 17-19 June 2009, Technology and management to ensure sustainable agriculture, agro-systems, forestry and safety, 1901-1906
- KTBL-Schrift 451 (2006): Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen, Verfahren - Leistung - Kosten, Darmstadt 2006

- Müller, H.-J.; Krause, K.-H.; Mußlick, M. (2007): Design of a New Ventilation System for Reduction of Ammonia Emissions from Pig Houses. Roomvent 2007, Helsinki
- Weinkauff, T.; Theise, H.; Hege, H.-C. and Seidel, H.-P. (2004). Topological construction and visualization of higher order 3D vector fields. Eurographics 23 (3)
- Weihs, C. (2006): Modell- und Praxisuntersuchungen zum Emissionsverhalten von zwei Schweinemastställen. Diplomarbeit, Fachschule Braunschweig/Wolfenbüttel

Schalltechnik in der Landwirtschaft – Entwicklung eines Leitfadens

Noise technology in agriculture – development of a manual

MICHAEL KROPSCH¹, CHRISTOPH LECHNER²

¹ Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irdning, Österreich

² Amt der Tiroler Landesregierung, 6020 Innsbruck, Österreich

Schlüsselwörter: Landwirtschaft, Schall, Lärmemission, Lärmimmission, Leitfaden

Keywords: agriculture, sound, noise emission, noise immission, manual

Zusammenfassung

In Österreich geraten tierhaltende Betriebe als potenzielle Emittenten von Geräuschen und Lärm zunehmend in das Blickfeld des öffentlichen Interesses. Dies betrifft sowohl den Bereich der Nutztierhaltung als auch technische Anlagen in Stallungen und den landwirtschaftlichen Verkehr. Vor allem im Bereich der Nutztierhaltung fehlen jedoch bis dato profunde und durch Messreihen abgesicherte Basisdaten zu Geräuschemissionen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Haltungsformen.

Eines der wesentlichen Ziele des vorliegenden Projektes ist – neben der Sammlung von Lärmemissionsdaten aus den Bereichen des landwirtschaftlichen Verkehrs und dem Sektor der Stalltechnik – die Ermittlung von Lärmemissionsdaten von Nutztieren. Diese Daten bilden die Basis zukünftiger Emissionsmodelle.

Summary

Farms in Austria are increasingly focused in public interest as potential sources of sounds and noise. Not only livestock husbandry is involved but also technical equipment and traffic related to agriculture. In particular in the sector of livestock husbandry there are no reliable basis data for sound emissions available.

One of the essential aims of the study is – apart from collecting sound emission data related to agricultural traffic and rural technical equipment – to detect noise emission data from livestock husbandry. These data are the base for future emission models.

1 Einleitung

Eine spärliche Datenlage als Grundstock für Lärmprognosen zieht allerlei Schwierigkeiten nach sich. Mangelhafte Geräuschemissionsdaten erschweren die Erstellung realitätsnaher Emissionsmodelle – fehlerhafte Prognosen können die Folge sein.

Wie gelangt man nun aber an Daten, die verlässlich Auskunft über die Höhe landwirtschaftlicher Lärmemissionen geben? Daten zu Geräuschemissionen von landwirtschaftlichen Kraftfahrzeugen lassen sich relativ einfach über die Hersteller organisieren. Schwieriger zu beschaffen sind demgegenüber Geräuschangaben zu potenziellen Lärmquellen aus dem Bereich der Stalltechnik, wie beispielsweise von Futtermühlen, Fütterungsanlagen, Mischanlagen, Melkmaschinen oder Milchkühlungen. Besonders mangelhaft – bisweilen überhaupt nicht vorhanden – ist, aus Sicht der Lärmemissionsmodellierung, die Datengrundlage zu Geräuschemissionen seitens landwirtschaftlicher Nutztiere (Rinder, Schweine, Geflügel, Schafe, Ziegen und Pferde).

Bis dato liegen nur wenige Studien vor, die sich eingehend mit dem Thema Lärm und Landwirtschaft auseinandersetzen. Sie beschäftigen sich vorrangig mit dem Arbeitnehmerschutz (FRANKLIN et al., 2002, DAVIES et al., 2005) sowie der Lärmreduktion (EVANS et al., 2004). In diesem Sinne liefern diese Publikationen wichtiges Datenmaterial, als Basis für die Erstellung von landwirtschaftlichen Lärmemissionsmodellen sind sie jedoch nur begrenzt verwendbar.

2 Zielsetzung

Das Lehr- und Forschungszentrum (LFZ) für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein erarbeitet gemeinsam mit dem Forum Schall einen Leitfaden für den Umgang mit Lärmemissionen und Lärmimmissionen aus der Landwirtschaft.

Der Leitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft soll in Zukunft Genehmigungsbehörden, Sachverständigen, Planern und landwirtschaftlichen Betriebsführern zur Verfügung stehen und einen wesentlichen Beitrag zur vereinheitlichten Bearbeitung von Lärmproblemen in der Landwirtschaft liefern.

Der Fokus der Entwicklungsarbeit richtet sich auf die erforderliche Standardisierung und Reproduzierbarkeit von Lärmmessungen in der Landwirtschaft, auf die Entwicklung (raum)planerischer Werkzeuge zur lärmtechnischen Beurteilung landwirtschaftlicher Betriebsstätten in Genehmigungsverfahren sowie auf die Beseitigung der auf diesem Gebiet herrschenden Rechtsunsicherheit.

Als eine der Kernaufgaben des Projektes gilt es, die Datenlage hinsichtlich landwirtschaftlicher Lärmemitteln und deren Emissionshöhen zu vergrößern. Die Datenerhebung bzw. Datensammlung erfolgt durch Schallpegelmessungen in der Praxis und aus Herstellerangaben.

3 Material und Methoden

Die Generierung des Datenmaterials erfolgt mit einem Echtzeitschallanalysator des Typs nor140. Neben einem dynamischen Messbereich von 10–140 dB besitzt der nor140 einen Frequenzanalysator (Messbereich 0,4–20 000 Hz) und bietet die Möglichkeit zur direkten Schallaufzeichnung im WAVE-Format. Zur Nachbearbeitung der Geräuschmessungen wird die Software NorReview eingesetzt – mit CadnaA steht ein leistungsstarkes Programm zur Berechnung von Lärmimmissionen zur Verfügung.

- Die Erhebung der Geräuschimmissionen von Nutztieren fand in den Forschungsställen des LFZ Raumberg-Gumpenstein und in Stallungen österreichischer landwirtschaftlicher Betriebe statt. In Mehrfachmessungen wurde der Stallinnenpegel in Form des energieäquivalenten Dauerschallpegels ($L_{A,eq}$), aufgeschlüsselt in Terzbändern (Abb. 1 und Abb. 2), generiert und die Tierlaute als WAVE-Dateien aufgezeichnet. Zusätzlich erfolgte in einigen Stallungen eine 12- bis 24-stündige Dauermessung. Durch eine Langzeitmessung lässt sich die zeitliche Variabilität einer Geräuschkulisse dokumentieren; in Tagesganglinien können Zeiten höherer und niedriger Stallinnenpegel, in Abhängigkeit von der Tieraktivität und der Tätigkeiten im Stall, dargestellt werden.

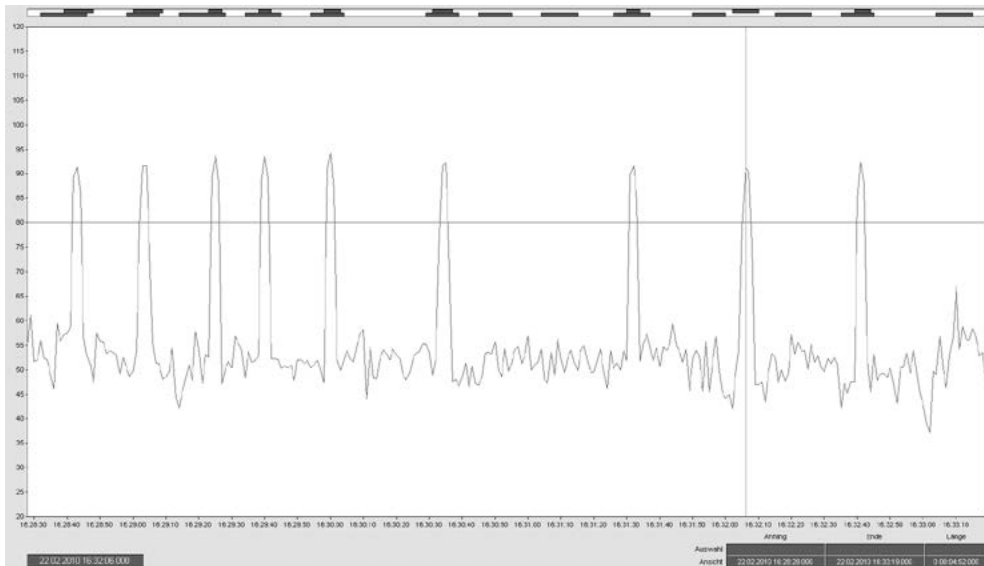


Abb. 1: Pegelzeitverlauf einer Geräuschmessung in einem Hühnerstall. Die Pegelspitzen repräsentieren Hahnenkrähen, die horizontale Linie entspricht dem $L_{A,eq}$

Fig. 1: Sound-time-sequence of a noise measurement in a hen house. Peaks represent cock crows, the horizontal line is correlated to the $L_{A,eq}$

Bildnachweis: NorReview, Software zur Nachverarbeitung von Umweltlärmmessungen, Firma Norsonic

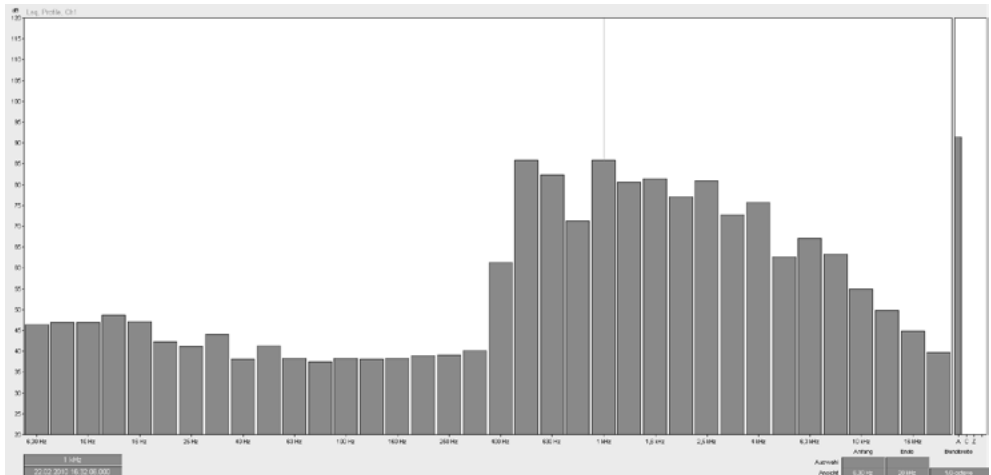


Abb. 2: Terzband-Spektralanalyse eines Hahnenkrähens (senkrechte Linie Abb. 1) mit Gewichtung im höheren Frequenzbereich

Fig. 2: Frequency analysis of a cock crow (vertical line Fig. 1) showing emphasis on the higher frequency sector

Bildnachweis: NorReview, Software zur Nachverarbeitung von Umweltlärmessungen, Firma Norsonic

An die Schallpegelmessungen schloss eine umfassende fotodokumentarische Erhebung, eine Ausmessung der Stallungen, die Erfassung der Tieranzahl im Stall sowie eine Abschätzung des mittleren Schallabsorptionsgrades α an. Anhand des mittleren Schallabsorptionsgrades α und der Gesamtoberfläche des Raumes S_V (Boden, Decke, Wände) lässt sich die äquivalente Absorptionsfläche A berechnen.

- Landwirtschaftliche Fahrzeuge unterschiedlicher Fabrikate und Bauart wurden im Rahmen eines simulierten Arbeitsvorganges und einer Vorbeifahrt schallmesstechnisch erfasst. Die Arbeitsmessung erfolgte gemäß ÖNORM EN ISO 3746 auf dem Gelände eines Parkplatzes, die Vorbeifahrtsmessung auf einem Fahrweg im Sinne der EU-RL 2009/63/EG. Für weiterführende Berechnungen wurden der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$) und der Schallexpositionspegel (SEL) in Oktavband-Spektralanalysen ermittelt. Aus diesen Messparametern lassen sich die erforderlichen Schallkenndaten für Maschinen, der A-bewertete Schalleistungspegel ($L_{W,A}$) und der A-bewertete längenbezogene Schalleistungspegel ($L_{W,A}^l$) berechnen.
- Für den Sektor Stalltechnik wurden die Schalldruckpegel (Innenpegel) in den Standorträumen während des Betriebes der Geräte in Form des A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegels ($L_{A,eq}$) an mehreren Messpunkten in Terzband-Spektralanalysen ermittelt. Zusätzlich erfolgten wiederum eine umfassende Fotodokumentation und eine Ausmessung der Räume. Durch Kenntnis des Innenpegels und der schalltechnischen Eigenschaften eines Raumes, charakterisiert durch seine Größe, die Oberflächenbeschaffenheit des Bodens, der Decke und der Wände sowie der Art der Einrichtung, kann der A-bewertete Schalleistungspegel ($L_{W,A}$) der Maschine/des Gerätes berechnet werden.

4 Bisherige Ergebnisse

4.1 Nutztiere

Insgesamt wurden rund 90 Rinder-, Schweine-, Hühner-, Puten-, Pferde-, Schaf- und Ziegenstallungen besucht. Ziel dabei war es, eine möglichst große Palette an unterschiedlichen Haltungsformen zu erfassen. Folgende Nutztierarten wurden schallmess-technisch untersucht:

- Rinder: Kälberställe, Milchviehställe, Mutterkuhbetriebe
- Schweine: Zuchtsauenhaltung, Deckzentren, Wartestallungen, Abferkelstallungen, Ferkelabteile, Mastschweineabteile
- Hühner: Legebetriebe, Mastbetriebe
- Puten: Mastbetriebe
- Pferde: Einzelhaltung, Gruppenhaltung
- Schafe: Milchschaafbetriebe, Mutterschaafbetriebe
- Ziegen: Milchziegenbetriebe

Bei der Erfassung der Geräuschimmissionen seitens der Nutztiere galt vorrangig die Frage zu klären, welche Schallkennzahl den konsistentesten Parameter darstellt. Aus den erhobenen bzw. berechneten Daten (Innenpegel, mittlerer Schallabsorptionsgrad α , Gesamtoberfläche des Raumes S_V , äquivalente Absorptionsfläche A) können der A-bewertete Gesamt-Schallleistungspegel ($L_{W,A}$) des Raumes, der A-bewertete Schallleistungspegel pro m^2 Stellfläche ($L_{W,A}/m^2$) sowie der A-bewertete Schallleistungspegel pro Tier ($L_{W,A}/\text{Tier}$) ermittelt werden. Ein Vergleich der Standardabweichungen einzelner Messungen im Rahmen einer spezifischen Stallsituation (Tiere in Futtererwartung, während oder nach Fütterung, während der Stallarbeit) zeigte, dass die übereinstimmendste Schallkennzahl der A-bewertete Schallleistungspegel pro Tier ($L_{W,A}/\text{Tier}$) ist. Der tierbezogene Schallleistungspegel bildet die Grundlage für Ausbreitungsrechnungen in Lärmemissionsmodellen.

Auf Basis dieser Erkenntnis soll der Leitfaden in Zukunft die Möglichkeit bieten, die Höhe von Geräuschimmissionen, ausgehend von Nutztieren unterschiedlicher Art, Anzahl und Haltungsform, im Umfeld landwirtschaftlicher Betriebe zu prognostizieren (Abb. 3).

4.2 Landwirtschaftliche Fahrzeuge

Die Auswertung der Simulation eines Arbeitsvorganges ergab, dass die A-bewerteten Schallleistungspegel ($L_{W,A}$) sämtlicher erfasster Traktoren und Hoflader im Bereich von 98 dB (± 3 dB) liegen. Die vorliegende Datenlage lässt darauf schließen, dass landwirtschaftliche Fahrzeuge, die eine ähnliche Bauart aufweisen wie die erfassten, ähnliche Schallkenndaten (A-bewertete Schallleistungspegel) aufweisen. Somit könnten, auch ohne nähere Kenntnis des genauen Gerätetyps eines Traktors oder Hofladers, genaue Ausbreitungsberechnungen in Lärmemissionsmodellen erstellt werden.

Die Analyse der Vorbeifahrtmessungen wird zeigen, ob sich die oben beschriebenen Zusammenhänge auch für fahrende Quellen nachweisen lassen und die aufgestellte These somit untermauern.

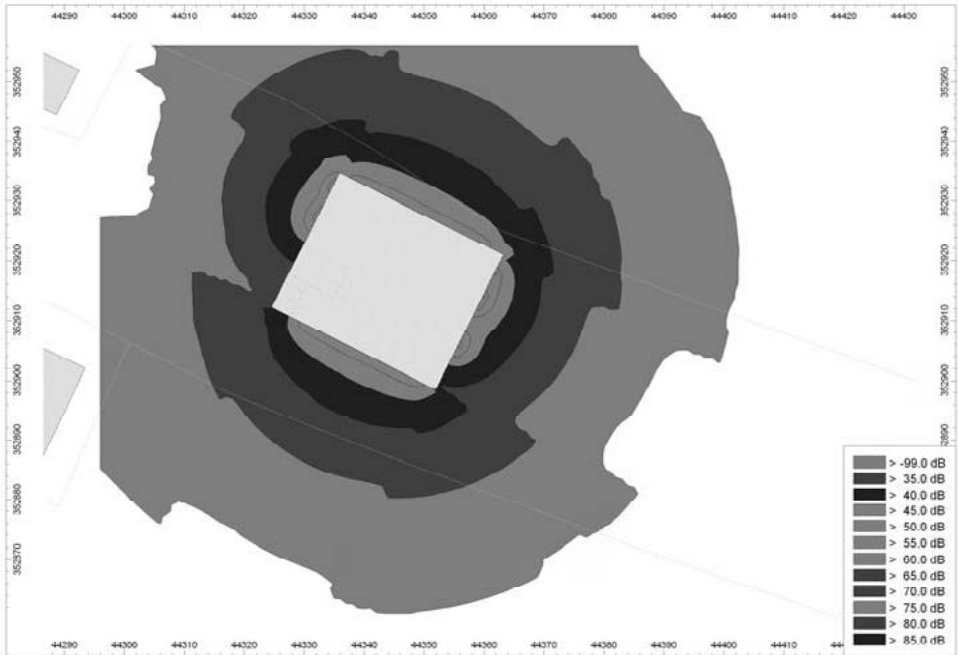


Abb. 3: Lärmemissionsmodell eines Rinderstalles – die Quellen bilden geöffnete Türen und Tore sowie die Offenfront-Öffnungen

Fig. 3: Noise emission model of a cow barn – the sources are open doors, gates and the open front sections

Bildnachweis: CadnaA, Software zur Lärmberechnung, Lärmprognose und Lärmkartierung, Firma Datakustik

4.3 Stalltechnik

Im Bereich der Stalltechnik konnten folgende Maschinen und Einrichtungen messtechnisch erfasst werden: Tauchmotorrührwerk, Melkstände (Ziegen, Schafe, Rinder), Elevator, Hammermühle, Ganzkornmühle und Fütterungsanlage.

Detaillierte Datenauswertungen zu dieser Emittentengruppe liegen noch nicht vor.

5 Ausblick

Die Datenerhebungen in den Bereichen der Nutztierhaltung und des landwirtschaftlichen Verkehrs konnten weitestgehend abgeschlossen werden. Für den Sektor Stalltechnik gilt es noch ausständige Messobjekte zu erfassen. Begleitend erfolgen eine strukturierte Analyse der Daten, Berechnungen und die Entwicklung von Schallimmissionskarten zur Kontrolle der Kalkulationen. In einem letzten Schritt werden die gewonnenen Erkenntnisse, die gesammelten Daten und Berechnungen zu Papier gebracht und bilden so die Basis des Leitfadens.

Der Leitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft wird in Zukunft die Möglichkeit bieten, die Höhe von Geräuschmissionen tierhaltender Betriebe – ausgehend von der Nutztierhaltung, dem landwirtschaftlichen Verkehr und der Stalltechnik – verlässlich zu prognostizieren. Landwirtschaftliche Lärmbeurteilungen, sowohl für zukünftige Bebauungen als auch für bestehende Betriebe, sollen dadurch erleichtert, standardisierter und reproduzierbarer werden.

Bis Ende 2012 soll die Erstellung des Leitfadens abgeschlossen sein und die Veröffentlichung über das österreichische Umweltbundesamt erfolgen.

Literatur

- Davies, H.; Winters, M.; Macintyre, E.; Peters, C.; Thom, J.; Teschke, K. (2005): Noise and Hearing Loss in Farming. School of Occupational & Environmental Hygiene, University of British Columbia, Vancouver
- Evans, J. P.; Whyte, R. T.; Price, J. S.; Bacon, J. M.; Semple, D. A.; Scarlett, A. J.; Stayner, R. M. (2004): Practical solutions to noise problems in agriculture. Silsoe Research Institute, Bedford and RMS Vibration Test Laboratory, Shropshire
- Franklin, R. C.; Depczynski, J.; Challinor, K.; Williams, W.; Fragar, L. J. (2002): Farm Noise Hazards: Noise Emissions during Common Agricultural Activities. Australian Centre for Agricultural Health and Safety, School for Rural Health, University of Sydney, Sydney

Potenzial und energetische Effizienz eines Erdwärmetauschers zur ganzjährigen Zuluftkonditionierung im Abferkelstall

Potential and energetic efficiency of an earth-tube heat exchanger for all-season conditioning of incoming air

ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE

Außenstelle Vechta der Universität Göttingen, Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft, Universitätsstr. 7, 49377 Vechta

Schlüsselwörter: Erdwärmetauscher, Hitzestress, Abferkelstall, Zuluftkonditionierung
Keywords: earth-tube heat exchanger, heat stress, farrowing house, air conditioning

Zusammenfassung

Aufgrund der sich weltweit verknappenden Energiere Ressourcen und damit einhergehend steigenden Energiepreisen gewinnen nachhaltige Formen der Energiegewinnung auch in der Tierhaltung immer mehr an Bedeutung. Des Weiteren führen steigende Tierleistungen, bedingt durch fortschreitende Zucht, verbesserte Haltung und Management zu hohen Ansprüchen der hochleistenden Tiere an das Stallklima. Der Einsatz eines Erdwärmetauschers (EWT) ermöglicht die Nutzung der im Erdreich gespeicherten Wärme, die im Vergleich zur Außenluft deutlich geringeren Temperaturschwankungen unterliegt. Daher bekommt der EWT durch die Energieeinsparungen, aber auch im Hinblick auf die Kühlleistungen der Zuluft im Sommer (Vermeidung von Hitzestress) immer mehr Zuspruch. Gerade im Abferkelstall ist ein ausgeglichenes Klima sowohl für die Sau als auch für die Ferkel ganzjährig zu gewährleisten. In dieser Untersuchung konnte mithilfe des eines EWT in einem Abferkelstall die Zuluft effizient gekühlt (Sommer) bzw. erwärmt (Winter) werden, wodurch die Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresverlauf deutlich reduziert wurden.

Summary

In the course of further shortage of fossil resources and high oil prices sustainability of livestock houses gets more important than ever. In addition increasing animal performances due to advanced breeding as well as improved housing and management, leads to higher demands for an optimal stable climate. With the aid of earth-tube heat exchanger geothermal energy which can be characterised by clearly lower variations in temperature compared to the incoming air can be used. Therefore the earth-tube heat exchanger becomes more popular, on the one hand because of energy saving at winter times, but also because of the cooling of the incoming air at summer times (prevention of heat stress). Especially in farrowing houses a balanced climate throughout the whole year for sows as well as for piglets has to be provided. By means of earth tempering of incoming air was efficiently cooled, heated respectively resulting in a clear reduction of seasonal variation and diurnal variation.

1 Einleitung

Wärmegewinnung mithilfe von Erdwärmetauschern (EWT) hat in den letzten Jahren in Europa immer mehr an Bedeutung gewonnen. Der massive Anstieg des Rohölpreises Ende der 70er Jahre hatte damals erstmals zu einem Umdenken in Energiefragen geführt und die Entwicklung energiesparender Systeme gefördert. So wurde 1981 in Deutschland der erste EWT für einen Mastschweineestall in Betrieb genommen (SCHIRZ, 1982). Im Zuge der weiteren Verknappung fossiler Energien und hoher Energiepreise wird die Nachhaltigkeit der Tierproduktion immer wichtiger. Daneben kommen steigende Tierleistungen, bedingt durch fortschreitende Zucht, verbesserte Haltung und Management hinzu; der Anspruch der hochleistenden Tiere an das Stallklima, insbesondere im Hinblick auf die Vermeidung von Hitzestress im Sommer, steigt.

Gerade im Abferkelstall ist ein ausgeglichenes Klima sowohl für die Sau als auch für die Ferkel ganzjährig zu gewährleisten. Die Ansprüche an die Umgebungstemperatur sind bekanntermaßen sehr unterschiedlich: Ferkel, v.a. in den ersten 2 Wochen p.p., benötigen Temperaturen um 33 °C. Eine Raumtemperatur von 27 °C und zusätzliche Wärmequellen in Form von Ferkelnest und Wärmelampe sind daher im Abferkelabteil notwendig. Die Optimaltemperatur der laktierenden Sau hingegen liegt im Bereich von 10–16 °C (HAHN, 1985). Liegen die Temperaturen über dem thermoneutralen Bereich, zeigen sich negative Auswirkungen auf Futteraufnahme, Milchleistung (BLACK et al., 1993) und die gesamte Kondition der Sau, was wiederum Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit haben kann (LYNCH, 1977; STANSBURY et al., 1979; PRUNIER et al., 1996). Durch eine Konditionierung der Zuluft mittels EWT kann Hitzestress vermieden werden.

2 Material und Methode

Die vorliegende Untersuchung wurde in einem Abferkelstall (4 Abteile à 22 Abferkelbuchten) im Landkreis Osnabrück über einen Zeitraum von 12 Monaten durchgeführt.

Als EWT wurden 88 unperforierte, gerippte Drainagerohre mit einem Durchmesser 20 cm unter dem Abferkelstall in 1,60–2,00 m Tiefe verlegt. Am Standort befand sich Podsol-Boden mit 30 Bodenpunkten und ein Grundwasserstand von 1 m. Aufgrund des hohen Grundwasserstandes wurde beim Verlegen der Rohre auf ein Einschlemmen verzichtet: Ein Bodenaushub für 8–9 Rohre wurde mit der Erde der nächsten Grube wieder geschlossen. Die Rohre wurden ohne Abstand direkt nebeneinander verlegt. Der Abstand zwischen den einzelnen Gruben betrug 0,5 m. Insgesamt wurden so 88 Rohre verlegt, entsprechend 1 Rohr/Abferkelplatz.

Die Eintrittsöffnungen des EWT lagen direkt an der Außenwand des Stalles, die Austrittsöffnungen der Rohre mündeten in einen Zuluftkanal, von dort gelangte die Luft in fünf mit Styrofoam-Platten gedämmten Zuluftschächten (1 × 1 m), die über den Abteilen verliefen. Von diesen Schächten aus waren handelsübliche KG-Rohre für die Nasenlüftung in die Abteile verlegt. Diese Rohre hatten einen Durchmesser von 0,2 m und endeten im Abteil in 2 m Höhe direkt über den Köpfen der Sauen. Die Abluft im Abteil wurde durch je einen Schacht (Multifan Rohreinbauventilator) pro Abteil abgesaugt. Die Absaugung wurde abteilweise durch einen Klimacomputer (FC12, Fancom,

NL) auf Basis des Luftvolumenstroms und der Temperatur gesteuert. Zusätzlich war ein Frequenzregler (Frelink-4f, Vostermans Ventilation B. V., NL) zur Drehzahlregelung des Lüfters zwischengeschaltet (Abb. 1).

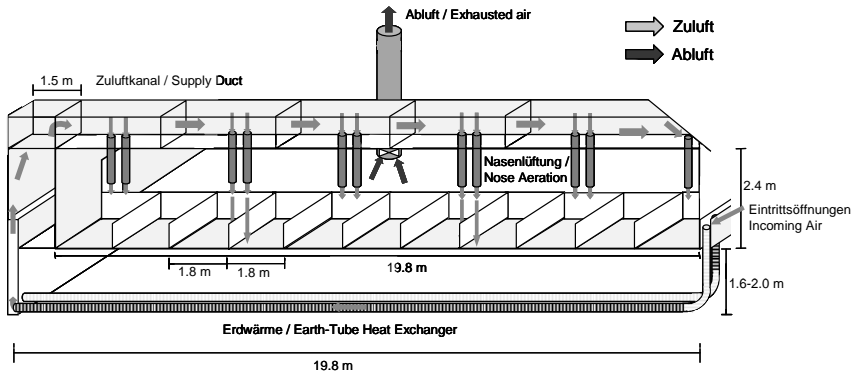


Abb. 1: Luftführung durch den EWT im Abferkelabteil

Fig. 1: Routing of air flow passing the EWT in the farrowing compartment

Mit Ausnahme der Infrarotlicht-Lampen (je 80 Watt), die in den ersten 4 Tage p.p. über den Ferkelnestern hingen, stellten die Warmwasser-Fußbodenheizung der Ferkelnester und die Wärmeabgabe der Tiere die einzig zusätzlichen Wärmequellen im Stall dar.

Um die Leistungen des EWTs zu quantifizieren, erfolgte die stündliche Erfassung der Lufttemperatur an drei verschiedenen Messorten: Die Außenlufttemperatur wurde mit der WS 2000 PC-Funk-Wetterstation (Fa. ELV-Elektronik AG, D) 20 m vom Stall entfernt erfasst. Die Zulufttemperaturen nach Passieren des EWT wurden mithilfe eines micro-mec loggers (Datenlogger+Messtechnik GmbH, D) und Messfühlern (Rotronic Messgeräte GmbH, D) im gemauerten Zuluftkanal an vier verschiedenen Punkten entlang des Zentralganges gemessen. Die Stalllufttemperaturen wurden in Abteil 1 und Abteil 3 erfasst. Die Tinytag Datenlogger (Fa. Gemini Data Loggers Ltd., GB) waren in der Mitte des Stalles auf 1,80 m Höhe angebracht.

Aufgrund Fehlfunktionen der Messtechnik lagen für die Außenlufttemperatur vom 2. September bis 2. Oktober 2009 und für die Zulufttemperaturen nach Passieren des Erdwärmetauschers vom 8. Oktober bis 4. November 2009 keine Messdaten vor.

3 Ergebnisse und Diskussion

Auf Basis der gemessenen Stundenmittelwerte lag die mittlere Außenlufttemperatur im Jahresverlauf nur 2,4 °C unterhalb der mittleren Zulufttemperaturen nach dem Passieren des Erdwärmetauschers (Tab. 1), jedoch unterschieden sich die Standardabweichungen dieser Mittelwerte erheblich. Die Außenlufttemperatur wies im Jahresverlauf eine Spannweite von 49,1 K, mit einem Maximum von 35,1 °C und einem Minimum von -14 °C

auf. Nach Passieren des Erdwärmetauschers konnten diese Lufttemperaturschwankungen deutlich vermindert werden, sodass sich die Spannweite zwischen Maximum (21,5 °C) und Minimum (6,5 °C) auf 15,0 K verringerte.

Im Vergleich zur Außenlufttemperatur wurde während der Wintermonate die Zuluft nach Passieren des Erdwärmetauschers um bis zu 20 °C erwärmt und in den Sommermonaten um bis zu 14 °C gekühlt (Bezugsbasis: Stundenmittelwerte).

Durch die Zuluftkonditionierung mithilfe des Erdwärmetauschers konnten die Lufttemperaturschwankungen im Jahresverlauf im Vergleich zur Außenluft um 70 % reduziert werden.

Tab. 1: Mittelwert Standardabweichung (SD), Maximum und Minimum sowie die Spannweite (Range) der Außenlufttemperatur sowie der Lufttemperatur im Zuluftkanal (n = 7223 Stundenmittelwerte)¹⁾
Tab. 1: Mean, Standard Deviation (SD), Maximum, Minimum as well as range of the air temperature outside and in the supply duct (n = 7223 hourly means)¹⁾

	Mean	SD	Maximum	Minimum	Range
Außenlufttemperatur / Outside air temperature [°C]	10,0	8,3	35,1	- 14,0	49,1
Lufttemperatur im Zuluftkanal / Supply duct air temperature [°C]	12,4	3,8	21,5	6,5	15,0

¹⁾ Messdaten vom 2. September bis zum 2. Oktober und vom 8. Oktober bis zum 4. November 2009 wurden nicht berücksichtigt.

¹⁾ *Data from September 2nd to October 2nd 2009 and from 8th October to 4th November 2009 are not included.*

Bei einer berechneten Außenlufttemperatur von 14,1 °C wurde die Außenluft nach Passieren des EWTs weder gekühlt noch erwärmt (Abb. 2). Bei einer Außenlufttemperatur über 14,1 °C wurde die Luft im Zuluftkanal abgekühlt. Auf Basis der Tagesmittelwerte konnte die Außenluft nach Passieren des EWT um bis zu - 6 K gekühlt werden. Bei einer Außenlufttemperatur unter 14,1 °C wurde nach Passieren des EWT eine Erwärmung der Luft um bis zu 14 K erzielt.

Diese ermittelten Lufttemperaturdifferenzen entsprechen dem von HUIJBEN und HOOPS (1997) ermittelten Bereich. Die Autoren untersuchten die Erwärmung bzw. Abkühlung der Luft nach Passieren eines Erdwärmetauschers unter einem Maststall und stellten im Sommer Lufttemperaturdifferenzen von 4–8 K und im Winter von 4–10 K im Vergleich zu Außenluft fest.

Im Gegensatz zu der berechneten Temperatur von 14,1 °C, bei der die Luft nach Passieren des EWT weder erwärmt noch gekühlt wird, wurde auch an einigen Mess-tagen mit Außenlufttemperaturen zwischen 12–18 °C keine Kühlung bzw. Erwärmung der Luft nach Passieren des EWT beobachtet. Diese Tatsache kann mit jahreszeitlichen Einflüssen begründet werden. Ursache hierfür können unterschiedliche Boden- und Grundwassertemperaturen (Winter/Sommer) sowie jahreszeitlich bedingte variierende Luftvolumenströme sein.

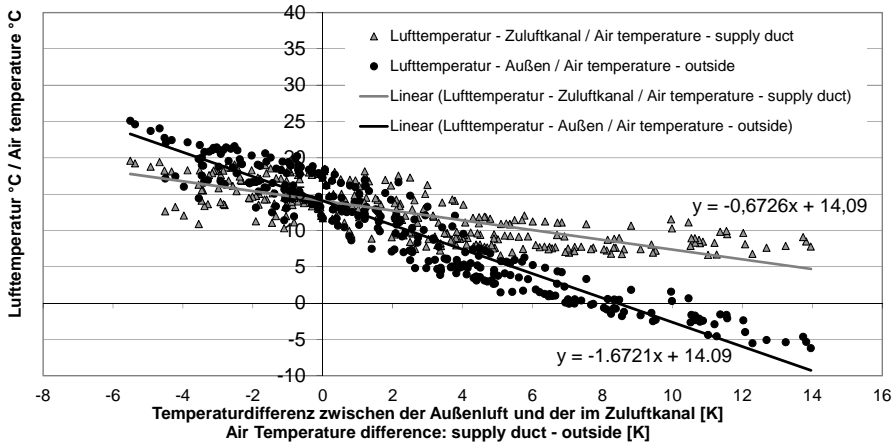


Abb. 2: Mittlere tägliche Zuluft- und Außenlufttemperatur in Abhängigkeit von der Differenz [K] zwischen Zuluft und Außenluft ($n = 309$), Daten vom 2. September bis zum 2. Oktober 2009 sowie vom 8. Oktober bis zum 4. November 2009 sind nicht berücksichtigt.

Fig. 2: Average daily supply duct and outside air temperature as function of the difference [K] between both ($n = 309$), data from September 2nd to October 2nd 2009 and from 8th October to 4th November 2009 are not included.

Die im Winter erzielten, deutlich größeren Lufttemperaturdifferenzen sind mit den in den Abferkelabteilen geförderten Luftvolumenströmen, die im Winter deutlich geringer sind, zu erklären. Die Luftgeschwindigkeit in den Tauscherrohren hat einen Einfluss auf die Temperaturdifferenz zwischen der Außenluft und der Zuluft nach Passieren des EWT, wobei geringere Luftgeschwindigkeiten zu höheren Lufttemperaturdifferenzen führen (DEGLIN et al. 1999).

Neben der Erwärmung bzw. Abkühlung der Luft ist die Abschwächung der Temperaturschwankungen der Außenluft ein weiterer Vorteil des EWT, der sowohl im Sommer als auch im Winter zum Tragen kommt. Tag-Nacht-Schwankungen der Außenlufttemperatur betragen in dieser ganzjährigen Untersuchung bis zu 19,8 K, durch die Zuluftkonditionierung mittels EWT wurden diese Temperaturschwankungen im Tagesverlauf deutlich mit maximalen Tagesschwankungen von nur 3,8 K reduziert. Am Beispiel von vier aufeinander folgenden Sommertagen im Jahr 2009 (Abb. 3) werden die Lufttemperaturschwankung der Außenluft, der konditionierten Zuluft sowie der Stallluft aufgeführt. An diesen Tagen weist die Außenluft Temperatur-Tagesschwankungen von maximal 14,2 K auf. Nach Passieren der Tauscherrohre unterliegt die Zuluft lediglich Temperatur-Tagesschwankungen von 2,5 K und liegt damit auf einem von VENZLAFF und MÜLLER (2008) festgestellten Niveau. Die Autoren berichten von maximalen Temperatur-Tagesschwankungen von 3–4 K nach Passieren eines EWT.

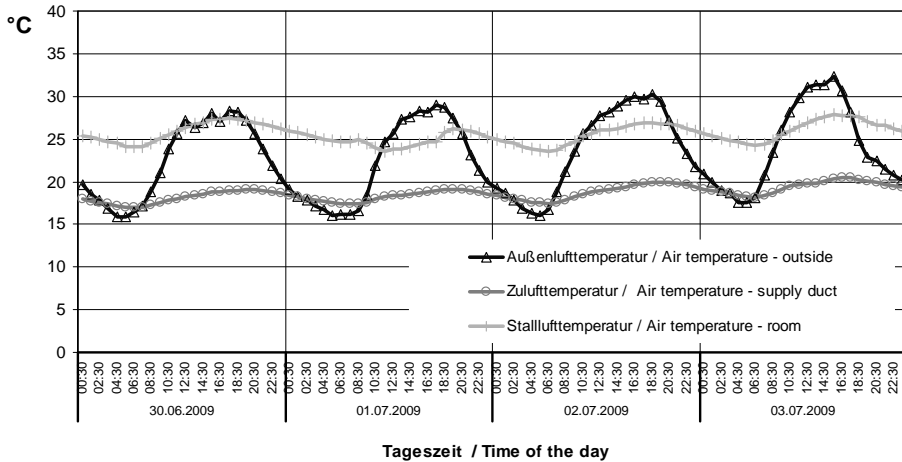


Abb. 3: Außenlufttemperatur, Zulufttemperatur nach Passieren des EWTs und Stalllufttemperatur an vier aufeinander folgenden Tagen im Sommer auf Basis von Stundenmittelwerten (n = 96)
 Fig. 3: Outside, supply duct and compartment air temperature on hourly basis for 4 consecutive example days during summer time (n = 96)

4 Schlussfolgerung

Mithilfe des Einsatzes des EWT in einem Abferkelstall konnte die Zuluft effizient gekühlt (Sommer) bzw. erwärmt (Winter) werden, wodurch die Temperaturschwankungen im Jahresverlauf als auch im Tagesverlauf deutlich reduziert wurden. Der Einsatz eines Erdwärmetauschers ist eine rentable Lösung für die nachhaltige Klimatisierung von Abferkelställen. Ein EWT ist unbestritten bei Neubau mit erhöhten Investitionen verbunden. Die Installation eines EWT wird aber durch deutliche Energieeinsparungen und eine verbesserte Tiergesundheit wirtschaftlich. In den Sommermonaten sind aufgrund der gekühlten Zuluft neben der geringeren Hitzestresswahrscheinlichkeit für die Sauen auch geringere Luftvolumenströme erforderlich, was zu einer Energieeinsparung führt. Während der Wintermonate können Heizkosten reduziert werden. Für die Quantifizierung des Energieeinsparpotenzials werden in den zurzeit laufenden Untersuchungen mithilfe eines Messventilators der Luftvolumenstrom ermittelt sowie mittels eines Wärmemengenzählers und Stromzählers der Energieverbrauch registriert. Des Weiteren erfolgen Luftdruck-Differenzmessungen zwischen dem Druck der Außenluft und der Luft nach Passieren des EWT.

Literatur

- Black, J. L.; Mullan, B. P.; Lorsch, M. L.; Giles, L. R. (1993): Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science* 35, 153–170
- Deglin, D.; Van Caenegem, L.; Dehon, P. (1999): Subsoil heat exchangers for the air conditioning of livestock buildings. *J. Agric. Engng Res.* 73, 179–188
- Hahn, G. L. (1985): Management and housing of farm animals in hot environments. In: Yousef, M. K.: *Stress physiology in livestock No. II*, CRC Press, Las Vegas, Nevada, pp. 62–63
- Huijben, J. J. H.; Hoofs, A. I. J. (1997): Vergelijking van grondbuizen en grondwater-unit bij vleesvarkens. *Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, Rosmalen, Die Niederlande
- Lynch, P. B. (1977): Effect of environmental temperature on lactating sows and their litters. *Irish Journal of Agricultural Research* 16, 123–130
- Prunier, A.; Quesnle, H.; Messias de Braganca, M.; Kermabon, A. Y. (1996) : Environmental and seasonal influences on the return-to-oestrus after weaning in primiparous sows: a review. *Livestock Production Science* 45, 103–110
- Schirz, S. (1982): „Minergie“ – Erdwärmetauscher als Stallklimagerät. *DLZ* 5, 781–785
- Stansbury, W. F.; McGlone, J. J.; Tribble, L. F. (1979): Effects of season, floor type, farrowing house temperature and snout coolers on sow and litter performance. *Journal of Animal Science* 65, 1507–1513
- Venzlaff, F.-W.; Mueller, H.-J. (2008): Untersuchungen zur Verbesserung der Klimagestaltung in Schweineställen bei gleichzeitiger Verringerung der Emissionen. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. http://www.mwfk.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2331.de/klima_sw.pdf. Zugriff am 28. Februar 2011

Unser herzlicher Dank gilt Herrn Peter Enders für das Ermöglichen dieser Untersuchung!

Modellierung energetischer Vorgänge in rekuperativen Wärmetauschern unter Praxisbedingungen

Modelling of energy operations by recuperative heat-exchangers in practise

PETER RÖSMANN, WOLFGANG BÜSCHER

Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nussallee 5, 53115 Bonn

Schlüsselwörter: Wärmerückgewinnung, Energieeffizienz, Stallklima

Keywords: heat recovery, energy efficiency, barn climate

Zusammenfassung

Mit der Lüftung von Nutztierställen sind Wärmeverluste verbunden, die in der kalten Jahreszeit häufig durch den Einsatz von Heiztechniken ausgeglichen werden.

Luft-Luft-Wärmetauscher ermöglichen die Wärmerückgewinnung (WRG) aus der Abluft. Dabei wird ein Teil der in der Abluft gebundenen Wärme über eine Tauscherfläche auf die Frischluft übertragen.

Zur objektiven Bewertung dieser Technik wurden bereits standardisierte DLG-Prüfstandmessungen durchgeführt (DLG, 2001a; b). Langzeituntersuchungen unter Praxisbedingungen haben bisher nur selten stattgefunden.

Das Institut für Landtechnik der Universität Bonn hat in einer Langzeitstudie einen rekuperativen Wärmetauscher in einem Ferkelaufzuchtstall untersucht, um die wärmetechnischen Prozesse zu modellieren.

Summary

Barn ventilation is often associated with heat loss. This can be regulated by using appropriate heating technology during the cold season.

Air-to-air heat exchanger can be used to recover some of the heat from outlet air. Thereby the system transfers some of the heat from the outlet air to incoming fresh air by heat exchange surfaces.

For objective review the DLG have multiple tested this technology on test bed (DLG, 2001). Long term investigations in practice have taken place rarely.

The Institute of Agricultural Engineering, University of Bonn, therefore has tested an recuperative heat exchanger in long term study which was installed in a piglet house to model the thermal processes.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung, immer kleiner werdender fossiler Energiereserven, großer Abhängigkeit von ausländischen Energielieferanten und stark schwankender, aber tendenziell steigender Energiepreise werden in der landwirtschaftlichen Tierhaltung aktuell folgende Fragen intensiv diskutiert:

- Welchen Beitrag zur Energieeinsparung kann die Wärmerückgewinnung leisten?
- Welche Wirkungsgrade erzielen Luft-Luft-Wärmetauscher unter Praxisbedingungen im Dauereinsatz?
- Wie können die Heizkosten in der Nutztierhaltung effektiv gesenkt werden?
- Wie können fossile Energieträger effizienter genutzt werden?

Bei zwangsbelüfteten Warmställen werden im Winter zwischen 70–90 % der Wärmeverluste durch die Lüftung verursacht (LINDLEY und WHITAKER, 1996). Um diese Wärmeverluste zu minimieren, wurden bereits in den achtziger Jahren Luft-Luft-Wärmetauscher in Schweineställen eingebaut. Diese konnten sich jedoch in der Praxis nicht durchsetzen, da sie aufgrund ihrer Bauart sehr wartungsanfällig und durch hohe Investitionskosten sowie geringe Primärenergiepreise unwirtschaftlich waren (VAN CAENEGEM und WECHSLER, 2000).

Steigende Energiepreise und technische Weiterentwicklungen machen die Wärmerückgewinnung aus der Abluft für Veredelungsbetriebe in jüngster Zeit wieder interessant.

Die Kaufentscheidung des Landwirts für einen Luft-Luft-Wärmetauscher ist dabei zunächst untrennbar mit der voraussichtlichen wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit dieser Investition gegenüber alternativen Techniken verbunden. Diese hängt jedoch in hohem Maße von der Energiepreisentwicklung ab (KLEMENT, 2001).

Als nicht direkt monetär zu bewertender positiver Effekt der Wärmerückgewinnung ist die Möglichkeit zur Einsparung fossiler Energieträger mit den dadurch eingesparten CO₂-Emissionen zu nennen.

Für den Tierbestand ist der Einsatz eines Luft-Luft-Wärmetauschers vorteilhaft, weil durch die Anwärmung der Frischluft häufig die nach DIN 18910 geforderte Mindestluft-rate gesteigert und dadurch die Luftqualität im Tierstall verbessert werden kann.

Rein objektive Bewertungen von Luft-Luft-Wärmetauschern auf Basis physikalischer Leistungsparameter wurden in Prüfstandmessungen bereits mehrfach von der DLG durchgeführt (DLG, 2001a; b). Als großer Vorteil dieser standardisierten Untersuchungsmethode ist die Reproduzier- und Vergleichbarkeit der Messungen zu nennen. Auf dem Prüfstand können beispielsweise die Parameter Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit oder auch Luftvolumenstrom exakt eingestellt und konstant gehalten werden.

Fundierte Aussagen über die Leistungsfähigkeit von Luft-Luft-Wärmetauschern auf landwirtschaftlichen Betrieben lassen sich jedoch nicht allein von den Prüfstandmessungen ableiten, weil sich eine Vielzahl von Störgrößen, wie z.B. die Verschmutzung der Tauscheroberflächen, unmittelbar auf das energetische Leistungspotenzial dieser Technik auswirkt. Als zusätzliche Einflussfaktoren auf die Wärmeübertragung können beispielsweise die Verweilzeit der Ab- bzw. Frischluft im Wärmetauscher oder auch die Reinigungsintervalle des Wärmetauschers aufgeführt werden.

Das Institut für Landtechnik der Universität Bonn hat einen rekuperativen Wärmetauscher WVTL 480 der Firma Schönhammer in einem Ferkelaufzuchtstall in Gunzenhausen, Kreis Ansbach bezüglich seines energetischen Leistungspotenzials in einer Langzeitstudie genauer untersucht. Anhand dieser können die Vorgänge wesentlich genauer modelliert werden.

2 Material und Methode

Der untersuchte Wärmetauscher befindet sich stirnseitig im Dachraum eines Ferkelaufzuchtstalls mit insgesamt 2 200 Ferkelaufzuchtplätzen. Die Aufzuchtferkel werden nach dem Absetzen direkt in die neun Aufzuchtteile eingestallt und verbleiben dort bis zu einem Lebendgewicht von ca. 30 kg.

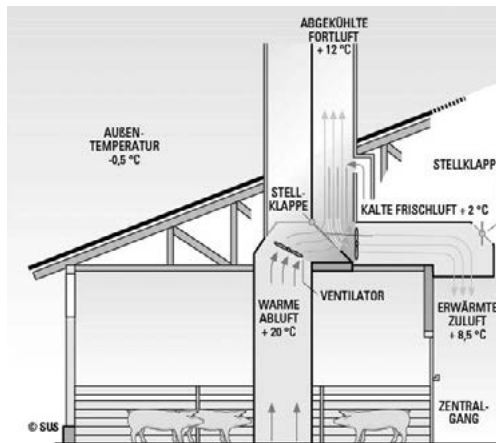


Abb.1: Schematischer Aufbau des untersuchten Luft-Luft-Wärmetauschers

Fig. 1: Schematic assembly of the investigated air-to-air heat exchanger (Rösmann et al., 2011)

Die Ablufführung erfolgt über eine zentrale Unterflurabsaugung (Abb. 1). Diese sammelt die warme Abluft aus den Aufzuchtteilen unter dem Zentralkanal und führt sie im Winterbetrieb über den Wärmetauscher aus dem Stall. Während der Sommerlüftung wird die Abluft mittels Stellklappen an der Tauscherfläche vorbei direkt aus dem Stall gefördert.

Die Frischluft gelangt über die Traufe in den Dachraum. Von dort wird sie über den Wärmetauscher in einen zentralen Versorgungskanal mit anschließender Einspeisung über Rieseldecken in die Aufzuchtteile geführt.

Bei dem untersuchten Luft-Luft-Wärmetauscher handelt es sich um einen rekuperativen Gegenstrom-Wärmetauscher. Rekuperatoren übertragen Wärme vom wärmeren Luftstrom durch eine Trennschicht konvektiv an den kälteren Luftstrom. Bei dem WVTL 480 wird die Frischluft auf der einen Seite durch glatte, gewendelte und aus Kunststoff bestehende Tauscherflächen von oben durch den Wärmetauscher geführt. Die warme

Abluft wird in entgegengesetzter Richtung aus dem zentralen Abluftammelkanal von unten nach oben durch den Wärmetauscher geleitet. Die abgekühlte Fortluft verlässt schließlich das Stallgebäude.

Die gewendelte Oberfläche vergrößert die Tauscher- bzw. Kontaktfläche zwischen der Zu- und Abluft. Zusätzlich soll durch die Verwirbelung die Wärmeleitung erhöht werden. Bei Bedarf kann die Tauscherfläche durch eine fest installierte Reinigungsanlage abluftseitig von Stallstaubablagerungen gereinigt werden.

Während der Untersuchung wurden alle 10 Minuten folgende Messwerte erfasst:

- Luftvolumenströme der Zu- und Fortluft
- Relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur der Frisch-, Zu-, Ab- und Fortluft
- Außentemperatur

Für den Erhalt von repräsentativen Messergebnissen sind zu- und fortluftseitig identische Luftvolumenströme erforderlich, denn nur so kann das Heizpotenzial des Wärmetauschers genau ermittelt werden. Diese Bedingung ist bei den Untersuchungen durch folgende Maßnahmen gewährleistet:

- Messtechnisch bedingter Einbau eines Ventilators in den Zuluftkanal
- Regelmäßige Kalibration der Ventilatorensteuerung auf Basis der von den Messventilatoren erfassten Luftvolumenströme
- Übertragung aller Messdaten via Internet auf den Institutsrechner. Dadurch können Probleme während der Messung unmittelbar erkannt und behoben werden

3 Ergebnisse und Diskussion

Die einjährige Untersuchung wurde von Oktober 2009 bis September 2010 durchgeführt. Auf die modellierungsrelevanten Ergebnisse soll im Folgenden eingegangen werden.

Die monatlichen Heizleistungen [kW] der WRG in Abhängigkeit der Frischlufttemperaturen werden in Abbildung 2 dargestellt. Es fällt auf, dass die zu erwartende Zulufterwärmung der WRG in hohem Maße von der angesaugten Frischlufttemperatur abhängig ist. Für eine hohe Heizleistung ist eine große Temperaturdifferenz ΔT [K] zwischen der Frisch- und Abluft erforderlich. Diese ist bei relativ konstanter Ablufttemperatur vor allem in der Winter- und Übergangszeit gegeben.

Aufgrund des hohen Wärmebedarfs von Absatzferkeln war der Luft-Luft-Wärmetauscher auch während der sommerlichen Nächte in Betrieb. Dadurch konnten in kühlen Sommernächten große Temperaturamplituden der Zuluft gedämpft werden.

Die Wärmerückgewinnung aus der Abluft betrug für den gesamten Untersuchungszeitraum 137 042 kWh. Das entspricht einem Heizöläquivalent von etwa 13 700 Litern.

Die in Abbildung 3 dargestellte Regression ermöglicht eine Abschätzung der Heizleistung von rekuperativen Wärmetauschern gleicher Bauart und Dimensionierung. Hierauf basierend kann unter Berücksichtigung der stallspezifischen Ablufttemperatur und außenklimatischen Verhältnisse am Produktionsstandort eine Modellierung der zu erwartenden Wärmerückgewinnungspotenziale durchgeführt werden.

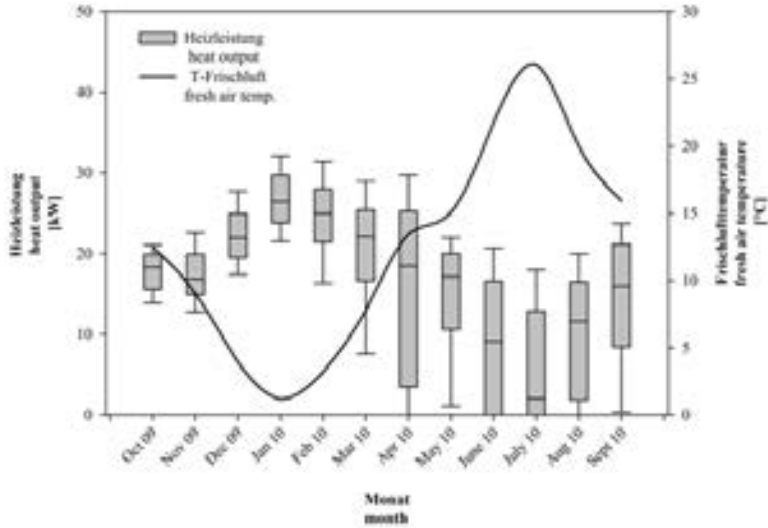


Abb. 2: Monatliche Heizleistung der WRG in Abhängigkeit der Frischlufttemperatur
 Fig. 2: Monthly heat output of heat recovery subjected to fresh air

Zur Realisierung der durch die Funktion beschriebenen Heizleistung müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

- Die abluftseitige Tauscherfläche muss weitgehend frei von Ablagerungen (Stallstäuben) sein
- Es müssen zu- und abluftseitig nahezu identische Luftvolumenströme vorliegen

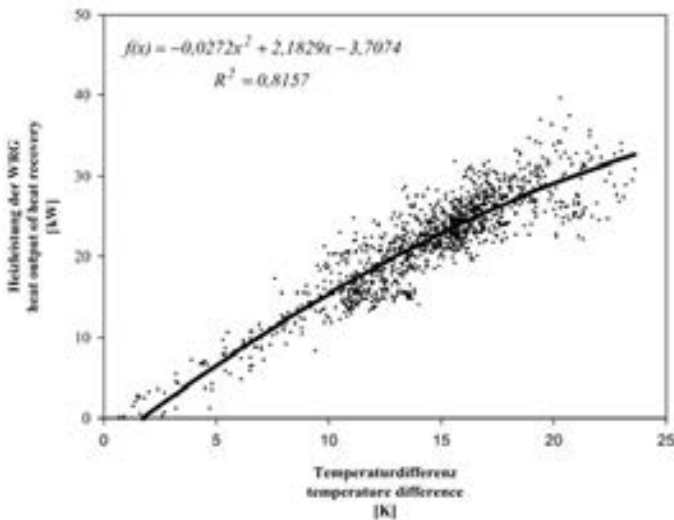


Abb. 3: Heizleistung der WRG in Abhängigkeit von ΔT zwischen Frisch- und Ablufttemperatur
 Fig. 3: Heat output of heat recovery subjected to ΔT between fresh- and outlet air

4 Schlussfolgerung

Mithilfe der Abbildung 3 können für Planungszwecke die zu erwartenden Heizleistungen abgeschätzt werden, um bei Wärmebilanzen die Zukunftssituation mit WRG realistisch zu bewerten.

Die Wärmerückgewinnung aus der Abluft von zwangsbelüfteten Warmställen bietet dem Landwirt die Möglichkeit, Energiekosten zu senken und einen Beitrag zur Einsparung fossiler Energieträger zu leisten.

Nur durch Langzeituntersuchungen in der Praxis konnte das Leistungspotenzial dieser Technik hinreichend quantifiziert werden. Die Ergebnisse können Landwirten und Beratern helfen, Luft-Luft-Wärmetauscher passgenau den energetischen Anforderungen entsprechend einzusetzen und Wirtschaftlichkeitsprognosen zu erstellen.

Für hohe Wirkungsgrade von Luft-Luft-Wärmetauschern sind große Temperaturdifferenzen zwischen Frisch- und Abluft erforderlich. Aus diesem Grund eignet sich diese Technik neben dem Einsatz in kälteren Regionen besonders für Stallanlagen, in denen ganzjährig hohe Stallinnenraumtemperaturen erforderlich sind. Als Beispiele können hierfür Ferkelaufzucht-, Hähnchenmastställe oder Aquakulturanlagen genannt werden.

Durch die Vorerwärmung der Zuluft kann die Winterlufrate erhöht und somit das Stallklima nachhaltig verbessert werden. Große Mengen an Primärenergie und CO₂-Äquivalente können auf diesem Wege substituiert werden.

Literatur

- DIN 18910: Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe
- DLG Prüfbericht 4961 (2001a): Luft/Luft-Wärmetauscher RIMU RLTN 3 (rekuperativer Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauscher), DLG-Prüfstelle für Landmaschinen, Groß-Umstadt
- DLG Prüfbericht 4962 (2001b): Luft/Luft-Wärmetauscher Schönhammer WVTL 40K (rekuperativer Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauscher), DLG-Prüfstelle für Landmaschinen, Groß-Umstadt
- Klement, S. (2001): Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes rekuperativer Wärmetauscher bei der Klimatisierung von Schweineställen am Beispiel der Mastanlage „Burkersdorfer Schweineproduktion“. VDI-MEG Schrift 372, 49–50
- Lindley, J. A.; Whitaker, J. H. (1996): Agricultural Buildings and Structures. The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA, 347–353
- Rösmann, P.; Büscher, W.; Schulte, M. (2011): Der Wärmetauscher spart 7000 € Heizkosten im Jahr. Schweinezucht und Schweinemast SUS, H. 1, 48–51
- Van Caenegem, L.; Wechsler, B. (2000): Stallklimawerte und ihre Berechnung. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwissenschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, S. 64–66

Einsatz und Ergebnisse einer Hochdruck-Vernebelungsanlage zur Kühlung eines Mastschweinestalls

Use of a high-pressure misting plant for cooling housing for fattening pigs

BERND LEHMANN, KLAUDIA KLINDTORTH, JOCHEN BAUMEISTER

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur,
Studiengang Landwirtschaft, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück

Schlüsselwörter: Schweinehaltung, Mastschweine, Stallklima, Kühlung
Keywords: pig farming, fattening pigs, climatization, cooling

Zusammenfassung

Im Rahmen des BMELV-Modellvorhabens „Landwirtschaftliches Bauen 2008–2010 – Kühlung von Schweineställen“ wurden in einem Zeitraum von zwei Jahren Untersuchungen an einem Mastschweinestall mit einer integrierten Hochdruck-Vernebelungsanlage als Kühlsystem durchgeführt.

Die Vernebelungsanlage erreichte an ausgewählten heißen Sommertagen einen Kühleffekt von 6 K. Insgesamt war die Sprühkühlung im Versuchszeitraum 159 Stunden in Betrieb. Der Anteil des Betriebsmittelaufwands der Sprühkühlung (Wasser- und Stromverbrauch) war gemessen am Gesamtverbrauch zu vernachlässigen (Verbrauch der Anlage: Wasser 7,7 %, Strom 2,5 %). Die technische Funktion war immer gegeben, wobei sich als Schwachstelle die Hochdruckdüsen herausstellten. Hier sind aufgrund von Verstopfung und/oder Verkalkung ein erhöhter Kontrollaufwand und entsprechende Wartungsarbeiten (Austausch der Düsen) notwendig.

Summary

Within the framework of the BMELV pilot project “Landwirtschaftliches Bauen 2008–2010 – Kühlung von Schweineställen” (Agricultural Building 2008–2010 – Cooling of Pig Housing) investigations were conducted in a piggery with a high-pressure misting plant applied for cooling.

The reduction of temperature peaks in the summer months was up to 6 K. During the investigation period of two years the cooling ran for a total 159 hours. Regarding the total water and electricity consumption the consumption of the high-pressure misting plant can be ignored (water consumption representing 7.7 % of total consumption, electricity representing 2.5 % of total consumption). The system never failed to function technically during the investigation, although the nozzles were revealed as weak points. These should be inspected regularly to ensure breakdown-free operation of the cooling system whenever required.

1 Einleitung

Die Haltung von Mastschweinen erfolgt heute überwiegend in geschlossenen und zwangsbelüfteten Ställen. Vor dem Hintergrund von Klimaveränderungen und immer länger anhaltenden Hitzeperioden haben dabei vor allem die Stalltemperatur und relative Luftfeuchtigkeit eine besondere Bedeutung, da diese unmittelbar von den Außenbedingungen des Stalls bestimmt werden und nicht zu beeinflussen sind. Dabei muss im Sommer die Wärme aus dem Stallraum abgeführt und möglichst kühle Zuluft zugeführt werden, um eine zu starke Wärmebelastung/Hitzestress der Tiere zu vermeiden. Die Nutzung von Kühlsystemen kann dabei ein förderndes Instrument zur Verbesserung der Klimagestaltung sein. Eine Absenkung der Stalltemperaturen kann durch den Einsatz von Wasserversprüh- oder Wasserverdunstungsanlagen oder durch das Ansaugen der Luft durch perforierte, mit Wasser besetzte Zuluftwände erfolgen.

Im Rahmen des BMELV-Modellvorhabens „Landwirtschaftliches Bauen 2008–2010 – Kühlung von Schweineställen“ wurden Untersuchungen u. a. an einem Mastschweinestall mit einer integrierten Hochdruck-Vernebelungsanlage (HD-Vernebelung) als Kühlsystem durchgeführt. Die Wirkung der Sprühkühlung wurde anhand von ausgewählten Parametern des Stallklimas und der Betriebswirtschaft in einem Zeitraum von zwei Jahren erfasst.

2 Anlagenbeschreibung

2.1 Versuchsstall

Die Hochdruck-Vernebelungsanlage wurde in einen Maststall mit 265 Tierplätzen integriert. Im Stall sind insgesamt sind 8 Buchten mit 33 Tieren pro Bucht (Großgruppen) vorhanden. Die Haltung erfolgt auf Vollspaltenboden mit sensorgesteuerter Flüssigfütterung. Die Belegung erfolgt im Rein-Raus-Verfahren.

Die Zuluft gelangt im Sommer über 2 Jalousien in einen zentralen Zuluftkanal. Die Luft strömt weiter über eine Porendecke in den Stall. Im Sommer wird die gesamte Zuluft über die Jalousien in den zentralen Zuluftkanal im Dachraum transportiert. Vom Zuluftkanal strömt die Frischluft über die Porendecke in den Stall. Die Abluft wird nur Oberflur abgesaugt und über 2 Abluftkamme nach außen befördert.

In diesem Stall befindet sich die HD-Vernebelung direkt im Stall. Dazu wurden an jeder Längsseite die Wasserzuleitungen mit je 16 Hochdruckdüsen in einer Höhe von 2 m installiert (Abb. 1).



Abb. 1: Versuchsabteil mit Hochdruck-Vernebelungsanlage zur Kühlung (Wasserleitungen mit Hochdruckdüsen zur Vernebelung sind seitlich über den Fenstern montiert)

Fig. 1: Experimental housing with adiabatic cooling system (water pipes and high pressure nozzles installed directly in the stable above the windows)

2.2 Aufbau und Funktionsprinzip der HD-Vernebelungsanlage

Die integrierte HD-Anlage („LUBING Top-Klima-System“) arbeitet nach dem Prinzip der direkten Verdunstungskühlung. Über die 32 installierten Hochdruckdüsen wird Wasser mit einem Druck von 70 bar als Nebel direkt der Stallluft zugeführt. Der Wassernebel verdunstet, sodass die relative Luftfeuchtigkeit im Stall ansteigt und die Temperatur entsprechend der zugeführten Wassermenge sinkt (adiabat). Die Wirkung ist von der relativen Luftfeuchtigkeit der vorhandenen Stallluft abhängig.

Damit die Funktionsfähigkeit der Anlage auf Dauer gegeben ist, besteht die Anlage aus folgenden Komponenten:

- Wasserzuleitung
- Wasseraufbereitung (zentrale Filtereinheit)
- Pumpeneinheit
- Hochdruckleitungssystem
- Hochdruckdüsen
- Sensoren für relative Luftfeuchte und Lufttemperatur
- Steuerungscomputer mit Bedienelement

Die HD-Anlage wird über einen Controller gesteuert, der mit dem Lüftungssystem (Fa. Möller) gekoppelt ist. Die Sprühkühlung richtet sich nach den beiden Leitparametern Temperatur und relative Luftfeuchte im Stall, die mit entsprechenden Sensoren erfasst werden. Zur Steuerung wird auf die Sollwerte sowie die Minimal- und Maximalwerte für die Temperatur und relative Feuchte zurückgegriffen, die in der Klimakurve hinterlegt sind.

2.3 Datenerfassung

Um Zustandsveränderungen der Zu- und Abluft sowie der Stallluft bei unterschiedlichen hohen Außentemperaturen und laufendem Betrieb der HD-Anlage zu erfassen, wurden Datalogger zur Messung der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit sowohl im Außen-, Zuluft- und Abluftbereich als auch direkt im Stall installiert.

Neben den Stallklimadaten (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) wurde auch der Verbrauch an Wasser und Strom dieses Kühlsystems erfasst. Dazu wurden bei den entsprechenden Verbrauchern Stromzähler bzw. zur Erfassung der Wassermengen Ringkolbenzähler ($Q_{\min} = 8 \text{ l/h}$) installiert. Für einen Mastdurchgang wurde der Strom- und Wasserverbrauch im Zeitraum vom 24.06.2010 bis zum 06.10.2010 täglich abgelesen und notiert.

3 Ergebnisse

Die Auswertungen über ausgewählte heiße Sommertage zeigten, dass mit der Vernebelungsanlage bei der untersuchten Anordnung ein Kühleffekt von 6 K erreicht werden konnte. Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass im Zeitraum vom 22.06.2010 bis zum 31.08.2010 an 12 Tagen die Zulufttemperaturen deutlich über den Stalltemperaturen lagen. Dieses lässt auf den Kühleffekt der Vernebelungsanlage schließen. An 8 Tagen im August, an denen die Sprühkühlung in Betrieb war, übertrafen die Zulufttemperaturen nicht die Stalllufttemperaturen, sondern lagen auf einem Niveau.

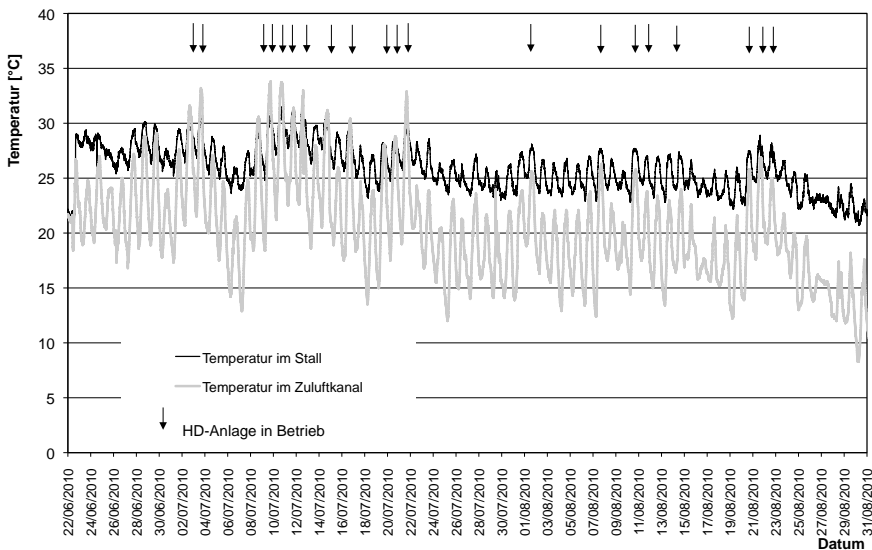


Abb. 2: Verlauf der Zuluft- und Stalllufttemperatur sowie Tage, an denen die HD-Vernebelungsanlage in Betrieb war, Zeitraum vom 22.06.2010 bis 31.08.2010

Fig. 2: Temperature of incoming air, actual piggery interior temperature and days with running high-pressure misting plant in the period of 22.06.2010 to 31.08.2010

Da die Tiere im Stall selbst Wärme produzieren und die Menge der produzierten Wärme im Verlaufe der Mast zunimmt, kann an diesen Tagen ebenfalls davon ausgegangen werden, dass mit der Hochdruckvernebelung ein Kühleffekt erzielt wurde, der im Ausmaß der Wärmeproduktion der im Stall gehaltenen Tiere entspricht.

Bei diesen Betrachtungen müssen jedoch die vom Landwirt vorgegebenen Sollwerte für die Stalltemperatur und der Regelbereich der HD-Anlage berücksichtigt werden. Hier spielen vor allem die Einstellparameter des Temperaturbereichs, der relativen Luftfeuchte sowie die Sprüh- und Pausenintervalle der Sprühkühlung eine Rolle. Weiterhin muss beachtet werden, dass die gesamte Regelungsstrategie auf das Lüftungssystem abgestimmt ist.

Während der Mastdauer eines Durchganges in der Sommerperiode vom 24.06.2010 bis 06.10.2010 war von den insgesamt 105 Tagen die Sprühkühlung an 84 Tagen nicht im Einsatz. An 8 Tagen wurde eine Laufzeit von einer Stunde, ebenfalls an 8 Tagen eine Laufzeit von 2 Stunden sowie an 5 Tagen eine Laufzeit von 3 Stunden an der Steuerungseinheit der Anlage erfasst (Abb. 3). Dabei benötigte die Sprühkühlung im Durchschnitt bei einer Laufzeit von einer Stunde am Tag 1,16 kWh Strom und hatte einen durchschnittlichen Wasserverbrauch von 0,15 m³. Die Auswertungen der täglichen Ablesungen der entsprechenden Zähler und Aufzeichnungen des Betriebsleiters zeigten, dass auch ein minimaler Stromverbrauch von 0,14 kWh gemessen wurde, wenn die HD-Vernebelungsanlage nicht in Betrieb war. Vermutlich wird dieser Strom für die Steuereinheit benötigt.

Der Gesamtstromverbrauch lag über den Versuchszeitraum (29.09.2008 bis 19.10.2010, 750 Tage) bei 9 778,83 kWh. Davon waren 239,51 kWh (2,5 %) zum Betrieb der HD-

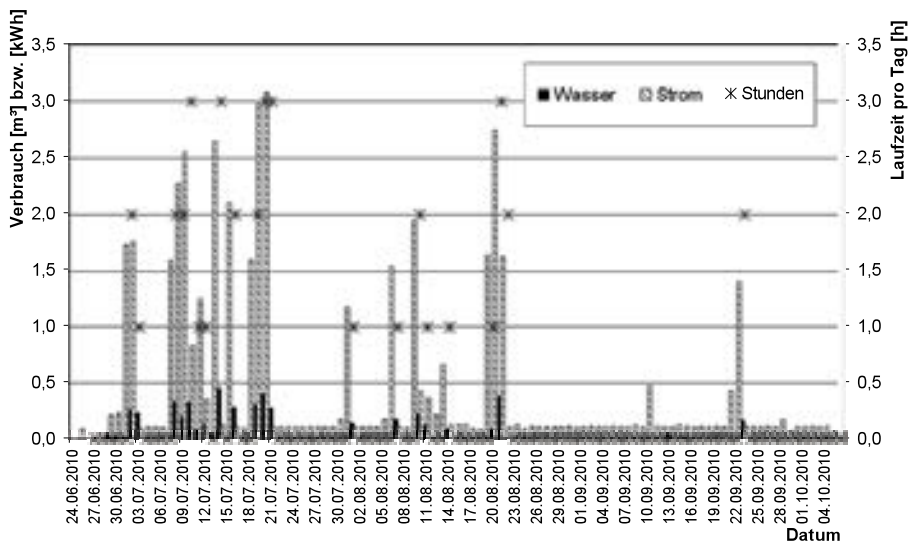


Abb. 3: Wasser- und Stromverbrauch sowie Laufzeit der Hochdruck-Vernebelungsanlage im Zeitraum vom 24.06.–06.10.2010

Fig. 3: Water consumption, electricity consumption and running period of the high- pressure misting plant in the period of 24.06.2010 to 06.10.2010

Vernebelungsanlage bei 159 Stunden Laufzeit erforderlich, wobei der elektrische Stromverbrauch vor allem von der Laufzeit der Hochdruckpumpe und der Einschaltdauer der Sprühkühlung abhängig ist.

Der Gesamtwasserverbrauch für den untersuchten Stall lag im Versuchszeitraum bei 275,5 m³, wobei durch die HD-Vernebelungsanlage 21,33 m³ verbraucht wurden, was einem Anteil von 7,7 % entspricht.

4 Fazit

Der untersuchte Modellbetrieb verfügte über mehrjährige Erfahrungen im Einsatz einer HD-Vernebelungsanlage zur Optimierung der Stallklimasituation in der Schweinemast. Neben dem Brechen von Temperaturspitzen in den Sommermonaten (bis zu 6 K) setzte der Betriebsleiter die Anlage zusätzlich in der Heizperiode zur Erhöhung der relativen Luftfeuchte ein. Insgesamt sollte dabei auf die Verwendung von sauberem Wasser, auf saubere Filter und immer freie Düsen geachtet werden. Die HD-Vernebelungsanlage lief über den gesamten Untersuchungszeitraum störungsfrei. Es sollte jedoch vor jedem Einstellen und bei der täglichen Tierkontrolle, wenn im Sommer die Sprühkühlung in Betrieb ist, eine Kontrolle der Düsen erfolgen, sodass ein störungsfreier Einsatz der Kühlanlage gewährleistet ist.

Aus Betreibersicht leistet der Einsatz der HD-Vernebelungsanlage einen Beitrag zur Optimierung der Stallklimasituation, und zwar nicht nur im Sommer, sondern auch im Winter (Einstellung der Feuchte in der Stallluft, Staubbindung).

Das Vorhaben wurde finanziell durch das BMELV gefördert.

Hitzestress bei Milchrindern – Möglichkeiten der Minderung

Heat stress in dairy cows – possibilities of reduction

CHRISTIANE LOEBSIN¹, MOHAMED SAMER², KNUT SCHRÖTER²

¹ Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg–Vorpommern, Institut für Tierproduktion, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf

² Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Abteilung Technik in der Tierhaltung, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

Schlüsselwörter: Hitzestress, Freie Lüftung, Ventilatoren, Windgeschwindigkeit

Keywords: heat stress, free ventilation, fan, air velocity

Zusammenfassung

Warme Umgebungstemperaturen bereiten Hochleistungskühen aufgrund ihrer erhöhten Wärmeproduktion häufig Probleme. Durch gezielte Maßnahmen kann die Thermoregulation der Tiere unterstützt werden.

In einem freigelüfteten Milchviehstall mit drei Deckenventilatoren wurden mittels 3-dimensionalen Ultraschallanemometern an 39 Messpunkten im Stall und einem Messpunkt außerhalb des Stalles Windgeschwindigkeit und Windrichtung gemessen. Der Versuch wurde ohne und mit eingeschalteten Deckenventilatoren durchgeführt.

Durch den Einsatz der Deckenventilatoren erhöhte sich die Windgeschwindigkeit im Stall. Die Verteilung der Windgeschwindigkeit im Stall war ungleichmäßig und wurde vom Außenwind beeinflusst.

Summary

Particularly with high summer temperatures dairy cows suffer from problems by increased heat production. By changing environmental conditions for dairy cows inside the barn thermal regulation of the animals can be supported.

Air velocity and wind direction were measured on 39 measuring points in a free ventilated barn with three ceiling fans and one measuring point outside.

Investigations were done with and without using ceiling fans. Air velocity was increased by using fans. Distribution of air velocity inside the barn was irregular and affected by wind outside.

1 Ziel

Genetischer Fortschritt sowie neue Haltungs- und Fütterungsverfahren haben in den letzten Jahren bei Milchrindern zu steigenden Leistungen geführt. Die damit verbundene höhere Wärmeproduktion der Tiere bereitet besonders in den Sommermonaten Probleme. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sollen zeigen, wie die Mechanismen der Thermoregulation der Kühe unterstützt werden können.

2 Hitzestress und Thermoregulation

Das Gleichgewicht von Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe bei Tieren bildet eine wichtige Grundvoraussetzung für hohe Leistungen. Die Wärmeaufnahme eines Tieres setzt sich zusammen aus allen wärmeübertragenden Umwelteinwirkungen sowie der körpereigenen stoffwechselbedingten Wärmebildung.

Durch den hohen Stoffwechsel der Hochleistungstiere kann es bei erhöhten Umgebungstemperaturen zum Ungleichgewicht kommen und es entsteht Hitzestress.

Bis zu einem gewissen Maß ist es den Tieren möglich, durch ihre eigenen Mechanismen der Thermoregulation

- Evaporation – Feuchtigkeitsverdunstung
- Konduktion – Wärmeleitung
- Konvektion – Wärmeübergang
- Radiation – Strahlung

überschüssige Wärme abzugeben. Umweltseitig kann der Wärmeentzug durch geeignete Stallbaulösungen einschließlich einer ausreichenden Klimatisierung unterstützt werden.

Bereits bei der Planung der Haltungsumwelt sollten vorbeugend bauliche Maßnahmen getroffen werden, die den natürlichen Luftwechsel steigern und für einen verminderten Wärmeeintrag in den Stall sorgen (BÜSCHER, 2009). Schon durch die Wahl einer geeigneten Dachhaut kann eine Erwärmung des Stalles durch Strahlung reduziert werden. Ebenso ist bei der Konzipierung der Liegeflächen zu beachten, dass diese Anforderungen wie

- weiche und verformbare Unterlage,
- trocken und trittsicher,
- gelenkschonend sowie
- Ermöglichung des schmerz- und verletzungsfreien Abliegens und Aufstehens

erfüllt; aber auch die Wärmeleitfähigkeit und das Speichervermögen der Liegefläche mit berücksichtigt werden. Um auch im Sommer bei hohen Temperaturen den Tieren eine optimale Liegefläche zu bieten, sollte diese in der Lage sein, die Wärme der Tiere abzuleiten. Eigene Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die Liegeflächen im Sommer grundsätzlich zu warm sind. Dabei gibt es allerdings Unterschiede zwischen den Materialien, die auf die Liegefläche aufgebracht sind. Da die Tiere mindestens 12 Stunden des Tages im Liegen verbringen sollen, ist es umso wichtiger, der Liegefläche als Möglichkeit zur Wärmeentlastung der Tiere mehr Bedeutung zu widmen und die Forderung nach geeigneten Materialien zu stellen.

Eine weitere Möglichkeit, die Wärmeentlastung von Milchrindern zu unterstützen, ist die Erhöhung der Windgeschwindigkeit im Stall durch den Einsatz von geeigneten Lüftern, wodurch die Konvektion als eine Maßnahme der Thermoregulation verstärkt werden kann. Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit führt zu einer schnelleren Abkühlung der Luftschicht über der Körperoberfläche. Durch das Nachströmen kälterer Luft wird der Wärmetransfer erhöht (BRÜSER-PIEPER, 2006). Nach Literatursagen wird die höchste Kühlwirkung bei einer Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s erreicht (HEIDENREICH, 2009).

Es gibt vielfältige Möglichkeiten zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Stall. Bei freigelüfteten Ställen ist die richtige Standortwahl eine Grundvoraussetzung für eine gute Durchströmung des Stalles. Gebäude, großes Baumwerk bis hin zu gelagerten Silos beeinträchtigen eine gute Durchlüftung des Stalles nachhaltig.

Trotz eines vernünftigen Managements der Jalousienöffnungen ist die Nutzung einer Unterstützungslüftung häufig unverzichtbar.

In Abhängigkeit von der Größe und der Bauweise des Stalles können Ventilatoren in Vertikal- als auch Horizontalrichtung zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeit eingesetzt werden.

Um Aussagen über die Wirksamkeit von Vertikallüftern in einem freigelüfteten Milchviehstall zu erhalten, wurden in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Agrartechnik in Potsdam-Bornim (ATB) umfangreiche Windprofilmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden vorgestellt werden.

3 Material und Methoden

In einem freigelüfteten Laufstall für 400 Milchkühe befinden sich über dem zentralen Futtergang drei Deckenlüfter der Firma BIG ASS mit einem Durchmesser von 7,32 m und einer maximalen Drehzahl von 42 Umdrehungen pro Minute. Durch einen Deckenventilator kann somit ein Volumenstrom von ca. 546 000 m³/h erreicht werden. Das Dach des Stalles ist ungedämmt.

An insgesamt 39 Messpunkten im Stall sowie einem Messpunkt außerhalb des Stalles wurden mittels 3-dimensionalem Ultraschallanemometer der Firma Gill und Young Windrichtung und Windgeschwindigkeit erfasst (Abb. 1). Es standen insgesamt 8 Ult-

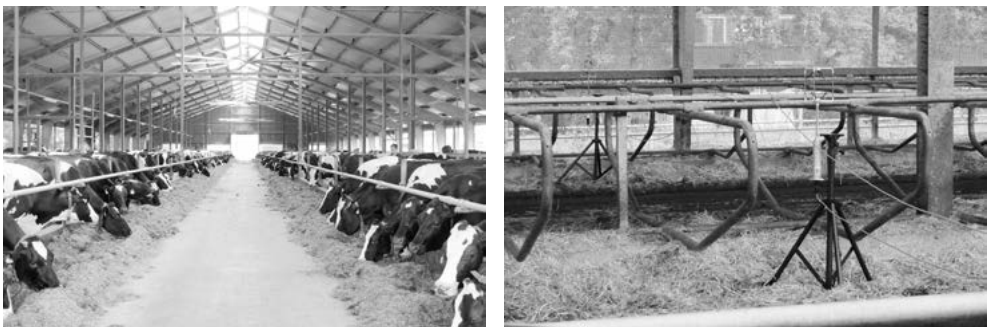


Abb. 1: Stallansicht mit Deckenventilatoren und eingesetztem Ultraschallanemometer

Fig. 1: View into the barn with ceiling fans and used ultrasonic anemometer

raschallanemometer zur Verfügung, sodass für ein Messintervall von 3 Minuten die Daten für jeweils 8 Messpunkte (7 im Stall und einer außerhalb des Stalles) zeitgleich gespeichert werden konnten. Jeder Messdurchgang wurde ohne Einsatz des Deckenlüfters sowie mit maximaler Drehzahl des Deckenlüfters ausgeführt. Danach erfolgte ein Umsetzen der Anemometer zu den nächsten Messpunkten. Während des gesamten Versuches waren alle Tore und Jalousien geöffnet.

Die Windprofilmessungen über den gesamten Stallgrundriss wurden insgesamt in drei Messperioden (Tab. 1) vollzogen.

Bei der Auswertung der Winddaten wurden nur die horizontalen Komponenten der Windgeschwindigkeit berücksichtigt.

Tab. 1: Ergebnisse der Windprofilmessungen

Tab. 1: Results of measuring air velocity

Messperiode	Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (m/s)		
	außen	innen ohne Lüfter	innen mit Lüfter
1	1,51	0,51	0,92
2	2,61	0,75	1,07
3	2,67	0,51	0,95

4 Windprofilmessungen

Am Beispiel einer Messperiode soll der Einfluss der Lüfter und des Außenwindes auf das Windprofil im Stall demonstriert werden. An den in Abbildung 2 dargestellten Messpunkten wurden während der Melkzeit die Windmessungen jeweils ohne und mit Einsatz der Deckenventilatoren durchgeführt.

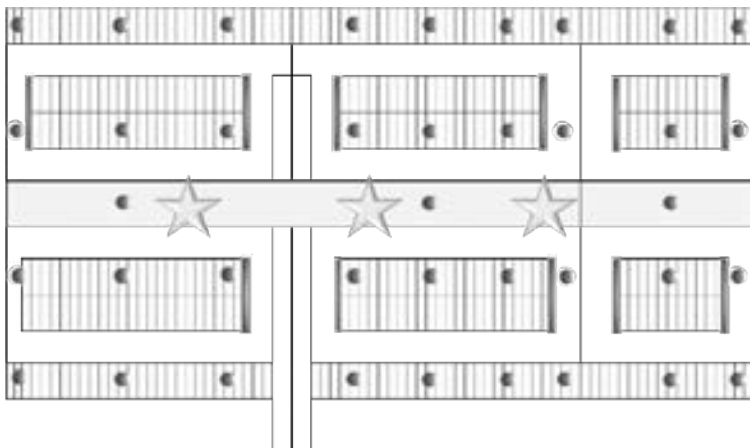


Abb. 2: Schematischer Stallgrundriss mit Anordnung der Messpunkte für Windmessungen

Fig. 2: Plan view of the investigated barn with points for measuring air velocity

Für jeden Messpunkt im Stall und außerhalb des Stalles wurde eine Windrose erstellt, die für jede gemessene Windrichtung den dazugehörigen Mittelwert der Windgeschwindigkeit anzeigt. Aufgrund des umfangreichen Zeitaufwandes, den die Durchmessung des gesamten Stalles in Anspruch nahm, war es sinnvoll, wegen veränderter Außenbedingungen für die zweite Stallhälfte eine weitere Windrose für den Außenwind zu erstellen. Die Skalierung der Windrosen ist für den Bereich 0 bis 2,0 m/s festgelegt.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse der Messperiode 1 bei ausgeschalteten Lüftern dargestellt. Sowohl am Westgiebel als auch an der linken südlichen Stalllängswand lagen die Windgeschwindigkeiten im Stall aufgrund des Außenwindes höher. Insgesamt über alle Messpunkte konnte im Stall eine Windgeschwindigkeit von 0,51 m/s gemessen werden.

Nach dem Einschalten der drei Deckenventilatoren veränderte sich das Bild spürbar (Abb. 4). Durchgängig bei fast allen Messpunkten erhöhte sich die Windgeschwindigkeit. Besonders augenfällig war dies im Bereich des Futterganges. Die Windrosen zeigen ebenfalls deutlich anhand der Windrichtung den Einfluss der Deckenventilatoren. Nur am Westgiebel konnte der Außenwind noch im Stall wirksam werden. Der Durchschnittswert der Windgeschwindigkeit über den gesamten Stall lag nach dem Einschalten der Lüfter bei 0,92 m/s.

Auffällig ist allerdings auch, dass es Bereiche im Stall gibt (rechte nördliche Stalllängsseite), in denen sowohl mit als auch ohne Einsatz des Deckenlüfter nur sehr geringe Windgeschwindigkeiten auftraten.

Um Aussagen zu erhalten, wie viel Wind an jedem einzelnen Messpunkt mit und ohne Einsatz von Ventilatoren für die Kuh wirksam wird, wurde für jeden Messpunkt ein Wert ermittelt, dessen Bezeichnung als Windsumme festgelegt wurde. Die Windsumme setzt sich aus den summierten Windgeschwindigkeiten innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit zusammen und ist angelehnt an den aus der Literatur bekannten „WindRun“, der für einen definierten Zeitraum die Summierung des Produktes aus der Windgeschwindigkeit und der dazu gehörigen Dauer beinhaltet.

Bei den durchgeführten Messungen wurden für einen Zeitraum von drei Minuten in einem Messintervall von einer Sekunde die Winddaten erfasst. Somit wäre bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s, bei der nach HEIDENREICH (2009) erst ein Kühleffekt bei den Tieren auftritt, über einen Zeitraum von 180 Sekunden eine Windsumme von 180 erstrebenswert. Da man davon ausgehen kann, dass der Wind nicht mit einer konstanten Windgeschwindigkeit über einen gewissen Zeitraum weht, wären auch Werte von 150 im akzeptablen Bereich.

In Abbildung 5 und 6 sind die Windsummen für beide Varianten (ohne und mit Lüftereinsatz) dargestellt. Für jeden Messpunkt wurde der Wert farblich hinterlegt. Während der schwarze Farbton einen Kühleffekt offeriert, bezeichnen die heller werdenden Farben eine Abnahme dieses Kühleffektes bis hin zur weißen Farbe, wo nur eine geringe Luftbewegung gemessen werden konnte.

Ohne Lüftereinsatz wäre demnach an drei Messpunkten am Westgiebel und an drei weiteren im Stall, die entweder vom Außenwind bzw. von einer gewissen Zugluft im Bereich des Treibegangs zum Melkhaus beeinflusst waren, eine kühlende Wirkung des Windes möglich. Nach dem Einschalten des Lüfters auf maximale Drehzahl ändert sich

das Bild. Die grauen Bereiche mit Windsummen über 100 nehmen deutlich zu und Windsummen unter 100 treten kaum noch auf.

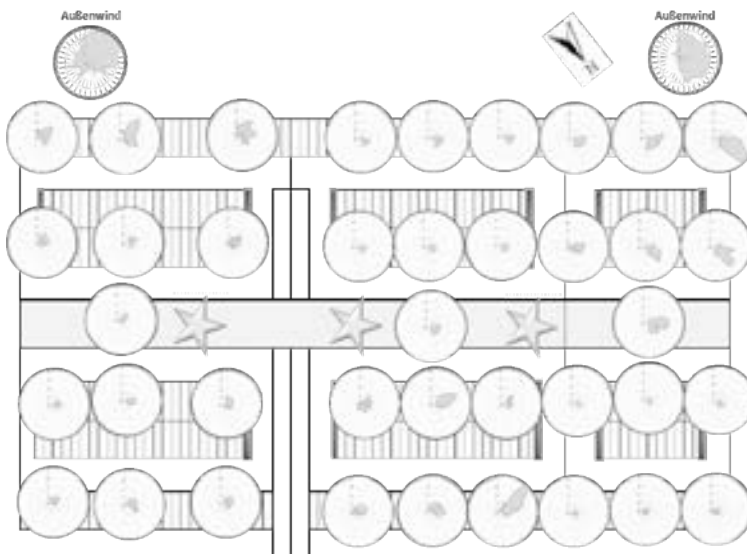


Abb. 3: Mittlere Windgeschwindigkeit und Windrichtung bei ausgeschalteten Lüftern

Fig. 3: Average of air velocity and wind direction when the fans are switched off

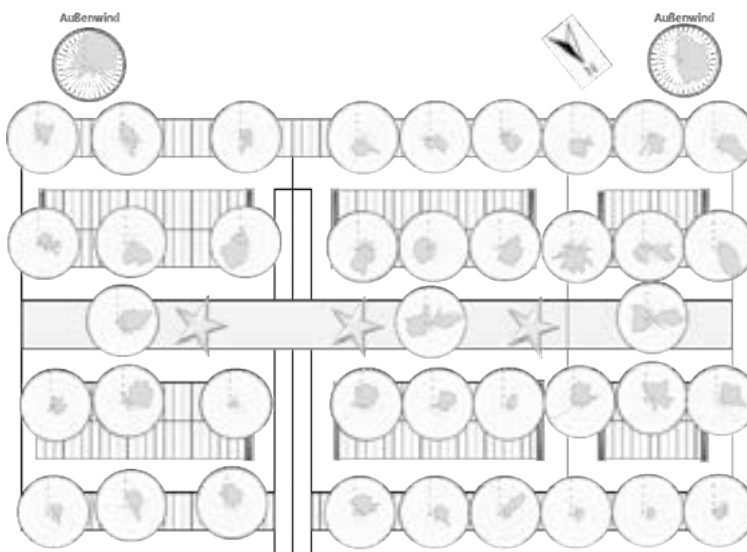


Abb. 4: Mittlere Windgeschwindigkeit und Windrichtung bei eingeschalteten Lüftern

Fig. 4: Average of air velocity and wind direction when the fans are switched on

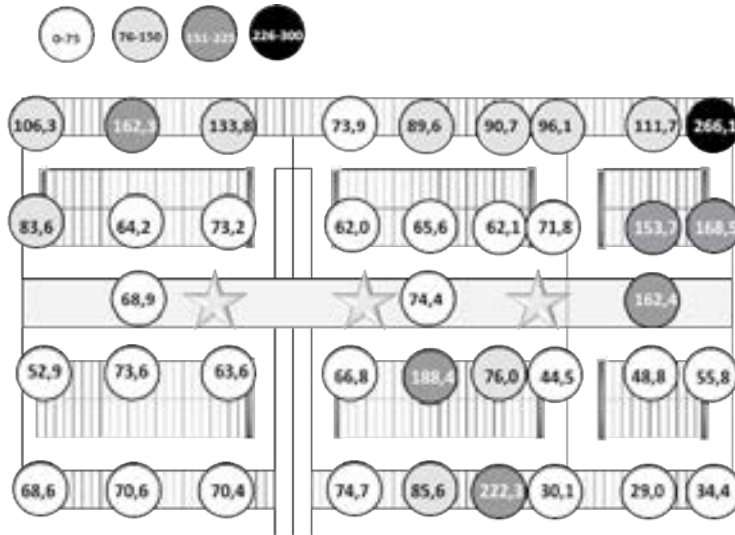


Abb. 5: Windsumme bei ausgeschalteten Lüftern
 Fig. 5: Sum of air velocity when the fans are switched off

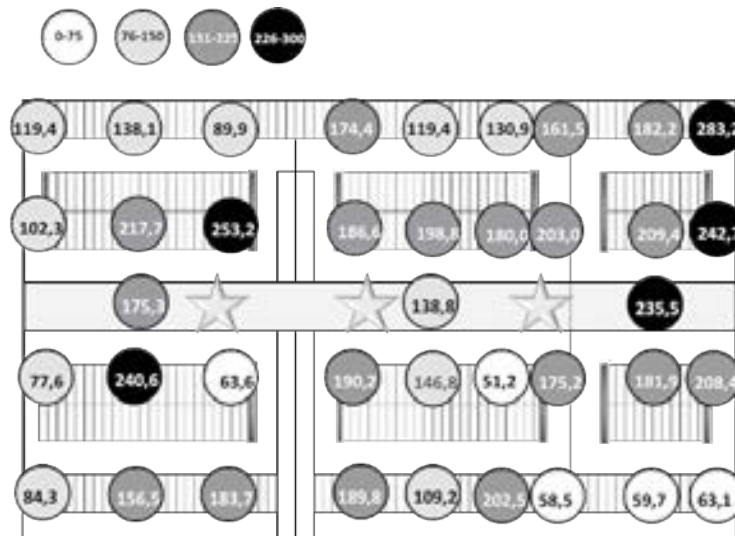


Abb. 6: Windsumme bei eingeschalteten Lüftern
 Fig. 6: Sum of air velocity when the fans are switched on

Wenn auch nicht alle Bereiche des Stalles gleichmäßig von einer deutlichen Erhöhung der Windgeschwindigkeit profitieren, so konnte dieser Effekt besonders im Bereich des Fressganges nachgewiesen werden. Dies wiederum könnte die Tiere animieren, diesen Bereich zum Abkühlen öfter aufzusuchen und dabei gleichzeitig Futter aufzunehmen.

Bei veränderten Außenwindbedingungen stellen sich die Ergebnisse im Stall ebenfalls anders dar. So zeigt Tabelle 1 die Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen. In Abhängigkeit von der Richtung und Geschwindigkeit des Außenwindes ändert sich das Windprofil im Stall. Insbesondere die vom Außenwind betroffenen Randbereiche im Stall weisen dann erhöhte Windgeschwindigkeiten auf, wobei dies nur nachweisbar ist, wenn der Wind ungehindert den Stall anströmen kann. Gebäude, Bäume und andere Hindernisse können zu deutlichen Minderungen der Einströmungsgeschwindigkeit führen.

Literatur

- Brüser-Pieper, C. (2006): Untersuchungen zur thermischen Belastung von Schlachtrindern beim Straßentransport auf Langstrecken, Diss. TH Hannover
- Büscher, W. (2009): Stressminderung durch bauliche-technische Maßnahmen beim Rind, Tagungsband 158, 23. Wiss. Fachtagung „Klimawandel – Konsequenzen für die landwirtschaftliche Nutztierhaltung“, 29.1.2009, Bonn, 34–42
- Heidenreich, T. (2009): Luftführung und energietechnische Aspekte zur Verringerung von Hitzestress in Rinderanlagen, Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2009, 29–32

Application of wavelet analysis for mastitis detection

Nutzung von Wavelets für die Erkennung von Mastitiserkrankungen

BETTINA MIEKLEY, IMKE TRAUlsen, JOACHIM KRIETER

Institute of Animal Breeding and Husbandry, Hermann-Rodewald-Straße 6, 24118 Kiel

Schlüsselwörter: Mastitiserkennung, Wavelet-Analyse, CUSUM Charts

Keywords: mastitis detection, wavelet analysis, CUSUM charts

Summary

This investigation uses wavelets for an early detection of mastitis. In total, data of 237 cows were analysed (44,837 observations). Mastitis was specified according to three definitions: (1) udder treatment, (2) udder treatment and/or somatic cell count (SCC) more than 100,000 cells/ml and (3) udder treatment and/or SCC exceeding 400,000 cells/ml. For detection of mastitis the milk electrical conductivity was utilized. These values were filtered by wavelets. The residuals between the observed and filtered values were applied to a classical and a self-starting CUSUM chart to identify blocks of mastitis (days of disease). According to mastitis detection performance the classical chart showed better results. The block-sensitivity ranged between 72.6 % and 76.3 % (self-starting chart between 72.1% and 74.5%) while the obtained error rates were between 69.2 % and 94.4 % (self-starting chart between 73.4 % and 95.7 %). In conclusion, wavelet analysis supports early detection of mastitis detection by filtering data. Results could probably be enhanced if more traits were included in the analysis.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einsatz von Wavelets in der Früherkennung von Eutererkrankungen untersucht. 237 Kühe (44 837 Beobachtungen) wurden analysiert. Folgende drei Mastitisdefinitionen gingen in die Analyse ein: (1) Euterbehandlung, (2) Euterbehandlung und/oder somatischer Zellgehalt (SCC) über 100 000 Zellen/ml und (3) Euterbehandlung und/oder SCC über 400 000 Zellen/ml. Als Mastitisindikator wurde die mittlere Leitfähigkeit der Milch pro Tag genutzt und mittels Wavelets gefiltert. Zur Identifizierung der Mastitis-Blöcke wurden auf die Residuen zwischen den beobachteten und gefilterten Werten klassische und self-starting CUSUM Charts angewendet. Die besten Ergebnisse erreichte das klassische Chart. Die Blocksensitivitäten des klassischen Charts schwankten zwischen 72,6 % und 76,3 % (self-starting Chart zwischen 72,1 % und 74,5 %). Die Fehlerraten lagen zwischen 69,2 % und 94,4 % (self-starting Chart zwischen 73,4 % und 95,7 %). Wavelets unterstützen die Mastitis-Früherkennung über die Filterung der Daten, eine multivariate Betrachtung könnte zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen.

1 Introduction

Mastitis still remains one of the most frequent and costly diseases in dairy industry. In 2010 culling rates in Germany due to mastitis were 16.2 % (VIT, 2010). The average economic losses vary between 150 to 250 Euros per cow and year (DVG, 2002). Early detection of mastitis reduces loss of milk yield, veterinary fees as well as loss in milk quality and increases the cure rate of the infected animals. Milk electrical conductivity of individual animals at every milking is the most widespread method of automatic detection of mastitis. In general, changes in electrical conductivity in milk are associated with mastitis (HOGEVEEN and OULWETJES, 2003). Since 1980 wavelet analysis has become a common tool for investigations at various fields such as industrial fault detection and process control. Especially wavelet denoising or filtering have recently gained tremendous popularity in time series analysis. Industrial, chemical, economical and biological process data, like milk electrical conductivity (MEC), are generally corrupted with different forms of noise. Therefore, in industrial and chemical process control wavelet filtering is used successfully to enhance the fault diagnosis of statistical process control (SPC) methods (GENÇAY et al., 2002). Thus the aim of this study was to analyse the efficiency of wavelet analysis for an early detection of mastitis based on MEC of lactating cows.

2 Materials and Methods

2.1 Data

Data were recorded on the dairy research farm Karkendamm between January 2009 and October 2010. During this period 90,794 milkings from 237 Holstein Friesian cows from 8 days in milk (DIM) to 200 DIM were collected. 82 % of these observations originated from cows in their first lactation. Milking took place in a rotary milking parlour from WestfaliaSurge GmbH with 28 places. Cows were milked twice a day. In addition, medical treatments of diseases were recorded constantly by veterinarians and farm staff. In this study, the milk electrical conductivity (MEC) was used as an indicator of mastitis. This trait was originally measured in millisiemens (mS); however the on-farm parlor management software (DairyPlan, WestfaliaSurge GmbH) recalculated these values and reported them as reference units. MEC varies greatly between cows and between days. To avoid intra-day variation, means of MEC of each cow and day were calculated. In total, 44,837 observations were included in the study.

2.2 Definition of mastitis

Udder health was classified on the basis of information on udder treatments as well as on the cows' somatic cell count (SCC) (CAVERO et al., 2007). SCC was measured weekly from pooled quarter milk samples taken from each cow (6,396 observations). According to the "Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V." an inflammation of the mammary gland is present if the SCC exceeds the threshold of 100,000 cells/ml (DVG, 2002). The European Union maximum bulk milk SCC threshold for saleable milk is set at 400,000 cells/ml. A SCC measurement more than 100,000 cells/ml or 400,000 cells/ml,

respectively, was considered as a case of mastitis. Consequently, three variants of mastitis definition were used in this study:

1. Treat: treatment performed without consideration of SCC
2. Treat 400: treatment performed and/or a SCC > 400,000 cells/ml
3. Treat 100: treatment performed and/or a SCC > 100,000 cells/ml

According to CAVERO et al. (2007) the days in the dataset were classified as “days of health”, “days of mastitis” or “uncertain days”. The day where the SCC was recorded, as well as two days before and two days after were set to the measured SCC classification. If two succeeding SCC measurements both exceeded the threshold of Treat 400 or Treat 100 or both did not, all days between them were also defined as “days of mastitis” or “days of health”, respectively. If the succeeding SCC classifications disaccorded, the days in the middle were set to “uncertain days”. In case of a treatment, two days before were defined as “days of mastitis”. After withdrawal period cows were classified according to SCC measurement. A mastitis block was defined as an uninterrupted sequence of “days of mastitis”. Depending on the mastitis definition 1) to 3), 61, 179 and 548 mastitis blocks were found, respectively.

2.3 Methods

Figure 1 shows the general approach of the study. At first, wavelet analysis was applied on the MEC data for filtering. Then monitoring of the residuals (deviation between the observed and filtered values) was performed either by a classical CUSUM chart or a self-starting CUSUM chart. Afterwards the performance of mastitis detection of both charts were tested.

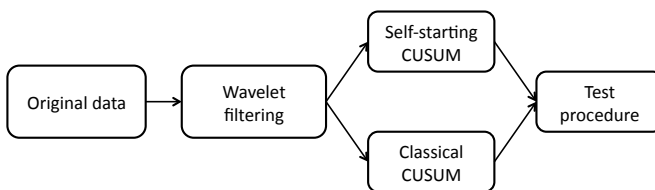


Fig. 1: General approach of the study

Abb. 1: Allgemeines Vorgehen der Untersuchung

2.3.1 Filtering using wavelet analysis

In wavelet theory, the wavelet transformation utilizes a basic function ψ (called the “mother” wavelet), that is stretched and shifted to capture features of the signal that are located in time and frequency (GENÇAY et al., 2002). Depending on the mother wavelet, wavelet filtering or decomposition separates the original (MEC) signal into two complementary signals or halves, i.e., approximation and detail. The approximation is the low-frequency component, and the detail is the high-frequency component of the MEC signal. For most signals, the low-frequency content is the most important part since it stands for the underlying (real) signal. The details imply transient events which are attributed to noise. Then the approximation signal of each cow passes through the same low-pass and high-pass filters for further decomposition. In short, wavelet filter-

ing identifies which component of the signal contains noise, and then reconstructs the signal without those components. Figure 2 shows the decomposition process.

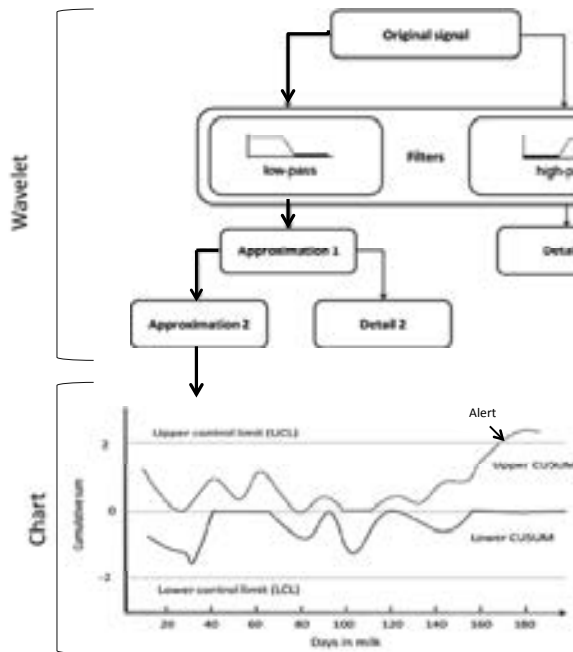


Fig. 2: Wavelet filtering process and monitoring of residual through a CUSUM chart

Abb. 2: Stufen der Wavelet-Filterung und anschließendes Monitoring der Residuen durch CUSUM Charts

According to GENÇAY et al. (2002) the Daubechies 4th (DB4) order wavelet is one of the most flexible mother wavelets. Additionally, suitability of the mother wavelet was tested by the maximal and average error of reconstruction. Thus, DB4 was chosen to be the best eligible basis for filtering the MEC signal of each cow. We chose the second approximation signal to be the best level of filtering. Then residuals between the observed (original) value and the value of the second approximation were calculated. These residuals were monitored using statistical process control charts.

2.3.2 Classical CUSUM charts

In general, a control chart consists of a centre line that represents the average value or the target value of the observed variable as well as a lower (LCL) and upper control limit (UCL) (Fig. 2). A data point outside the control limits is called an alert, indicating that the process is out-of-control. Corrective action is then required to restore or improve the process. At first, the mean (target value) as well as standard deviation has to be calculated using a sample dataset (prior data). Then the CUSUM chart plots the cumulative sums of the deviations of new observations from the target value. The CUSUM control chart has a rather long memory due to the fact that it uses a non-weighted sum of all previous

observations (HAWKINS and OLWELL, 1998). Because no prior information on each cow was available this classification method was used retrospectively. The CUSUM method calculates an upward (C_i^+ or upper CUSUM) and downward (C_i^- or lower CUSUM, Fig. 2) cumulative sum of the standardized observations (y_j). As mastitis increases MEC, C_i^+ was taken into consideration which is computed as follows:

$$C_i^+ = \max [0, y_i - k + C_{i-1}^+]$$

The CUSUM chart can be adjusted with the reference value k . It is chosen for an optimal response to a shift of a specified size. In this study k was set to 0.2. The UCL and LCL are determined by the h -value (threshold value), also called the decision interval.

2.3.3 Self-starting CUSUM

The classical CUSUM approach requires collection of a sample dataset with prior observations to calculate the target value. A self-starting CUSUM is a chart that works without such sample datasets (HAWKINS and OLWELL, 1998). As new observations become available and are added in a process, both mean and variation are updated by calculating a running mean and running variation. The standardization of each observation, using the running mean and standard deviation of the preceding observations, gives a standardized variate. If correlations between samples exist, the distribution of the standardized variate is not exactly normal. As a result, estimating the mean and the standard deviation can be problematic. Hence, the distribution of the standardized variate has to be transformed to first become independent and then follow the standard normal distribution. The transformed quantities can then be handled as any data for a CUSUM chart.

2.3.4 Test procedure

The control chart provided an alert whenever a point on the MEC chart was above the upper control limit as mastitis increases MEC. The model performance was assessed by comparing these alerts with the actual occurrence of mastitis. The accordant day of observation was classified as true positive (TP) if the threshold was exceeded on a day of mastitis, while an undetected day of mastitis was classified as false negative (FN). Each milking day in a healthy period was considered as a true negative (TN) case if no alerts were generated and a false positive (FP) case if an alert was given. The accuracy of these procedures was evaluated by the parameters sensitivity, block sensitivity, specificity and error rate. The sensitivity represents the number of correctly detected days of mastitis of all days of mastitis. For the detection of mastitis, it was not relevant to recognize all days of a mastitis block, but it was crucial that a mastitis case was detected early. Thus, it was determined that the detection had to take place within the first five days (three days in case of a treatment) of each mastitis block. Each mastitis block was considered as a TP case if one or more alerts were given in these first days of the mastitis block, and a FN case otherwise (CAVERO et al., 2007). The specificity indicates the percentage of correctly found healthy days from all the days of health. The error rates represent the percentage of days outside the mastitis periods, from all days where an alarm was produced. In addition, the number of FP cows per day is given.

3 Results

The results of both CUSUM charts depending on the mastitis definition are shown in Figure 3. The results of both charts (sensitivity, block sensitivity, specificity, error rate) at each mastitis definition and threshold value varied only slightly from each other. In general, block sensitivity decreases with increasing threshold value. The highest values for block sensitivity were reached at Treat 100 (92.7 % for the classical CUSUM and 92.3 % for the self-starting CUSUM). The error rates generally decreased with increasing threshold values. The error rates of definition Treat and Treat 400 for both charts did not differ much between each other. Treat 100 obtained the lowest error rates of all analysis (from 73.1 to 55.8 %).

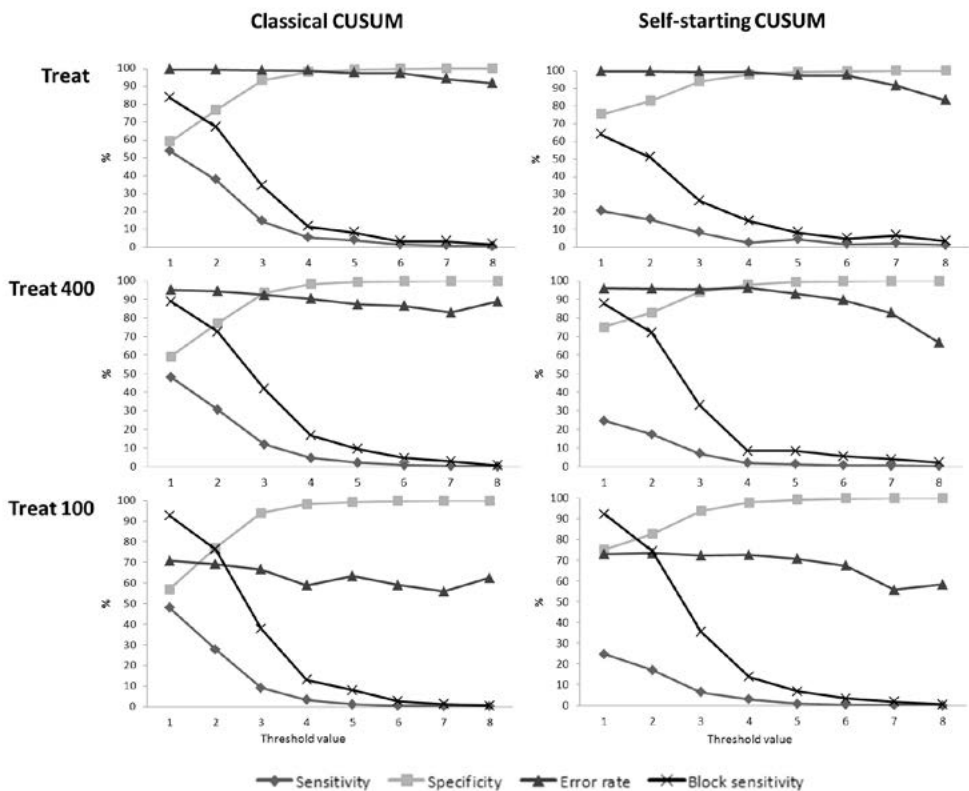


Fig. 3: Comparison between the three mastitis definitions for the classical and self-starting CUSUM chart

Abb. 3: Vergleich der Ergebnisse zwischen den Mastitisdefinitionen für den klassischen und self-starting CUSUM Chart

Sensitivity and specificity are interdependent. Therefore, limits for (block) sensitivity have to be set in such a way that optimal values for (block) sensitivity as well as specificity are reached (DEVRIES and RENEAU, 2010). Thus, block sensitivity was set to be at least 70 %. The results for both CUSUMs depending on the definitions are presented in Table 1. The values of the classical charts at definition Treat reached block sensitivity above 70 % not until a threshold value of 1. However, error rates of 99.4 % and 15.7 FP cows per day were too high. The self-starting CUSUM for Treat did not attain the limit of 70 %. The classical CUSUM for definition Treat 400 (72.6 % block sensitivity) and Treat 100 (76.3 % block sensitivity) performed better than the self-starting approach (block sensitivity Treat 400 72.1 % and Treat 100 74.5 %). Additionally, the error rates of the classical charts for Treat 400 (94.4 %) as well as for Treat 100 (69.2 %) were lower than for the self-starting charts (95.7 % and 73.4 %). However, the amount of FP cows per day reached higher values at the classical chart. At Treat 400 and Treat 100 15 FP cows per day and 11.2 FP cows per day occurred, respectively, whereas the self-starting chart obtained values of 11.3 FP cows per day (Treat 400) and 8.4 FP cows per day (Treat 100).

Tab. 1: Results for both charts depending on definition treat 100 and treat 400

Tab. 1: Ergebnisse beider Charts für Definition Treat 100 und Treat 400

Definition	Chart	Threshold value	Block sensitivity %	Specificity %	Error rate %	FP cows/day
Treat	classical	1	83.6	59.2	99.4	15.7
	self-starting	1	63.9	75.3	99.6	16.8
Treat 400	classical	2	72.6	77.0	94.4	15.0
	self-starting	2	72.1	82.8	95.7	11.3
Treat 100	classical	2	76.3	77.0	69.2	11.2
	self-starting	2	74.5	82.7	73.4	8.4

4 Conclusion

Overall, wavelet filtering seems to be an aid for individual disease detection in dairy cows. Wavelet analysis is able to identify the underlying trends of a signal and enable analyses of time series without them. Although relatively high block sensitivities of about 70 % were reached in both charts and nearly every variant of the mastitis definition met the corresponding error rates and amounts of FP cows per day were too high. The usage of detection methods apart from CUSUM charts might cause better results which make wavelet filtering applicable to practice. MEC on its own seems additionally not sensible for detecting mastitis reliably. Results could probably be enhanced if more traits, e. g. stage of lactation and prior knowledge of mastitis infection of each cow, were included in the analysis.

References

- Cavero, D.; Tölle, K.H.; Rave, G.; Buxadé, C.; Krieter, J. (2007): Analysing serial data for mastitis detection by means of local regression. *Livestock Science*, Vol. 110, 101–110
- DVG (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Sachverständigenausschuss “Subklinische Mastitis”
- DeVries, A.; Reneau, J. K. (2010): Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems. *J. Anim Sci.* 88, 11–24
- Gençay, R.; Selçuk, F.; Whitcher, B. (2002): *An introduction to Wavelets and Other Filtering Methods in Finance and Economics*. San Diego, Academic Press
- Hawkins, D. M.; Olwell, D. H. (1998): *Cumulative Sum Charts and Charting for Quality Improvement*. New York, Springer
- Hogeveen, H.; Ouweltjes, W. (2003): Sensors and management support in high-technology milking. *Journal of Animal Science*, Vol. 81, 1–10
- VIT (2010): *Jahresbericht 2010: Trends, Fakten und Zahlen*. Verden

Sensor-gestütztes Monitoring zur Vorhersage des Geburtstermins bei Milchkühen

Sensor-based monitoring as a predictor of the moment of parturition of dairy cows

SIRAJ RAYA, LUTZ HASSELMANN, OTTO KAUFMANN

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Fachgebiet Tierhaltungssysteme und Verfahrenstechnik, 10115 Berlin, Philipstr. 13, Haus 10

Schlüsselwörter: Monitoring, Fressverhalten

Keywords: sensor technology, feeding behaviour

Zusammenfassung

In Untersuchungen an 76 hochtragenden Friesian-Milchkühen wurden mittels sensor-gestützter Messverfahren die Parameter der Futtersaufnahme, Fressfrequenz und Fressdauer erfasst. Die Zielstellung der vorliegenden Untersuchungen bestand in der Bewertung dieser Verhaltensparameter in Bezug auf ihre Aussagequalität zur Vorherbestimmung des genauen Abkalbezeitpunktes.

Die Studie zeigt, dass das Tierverhalten der hochtragenden Milchkühe kurz vor der Geburt diversen Änderungen unterliegt.

In Kombination mit geeigneten Auswertungsmethoden können Parameter des sensor-gestützten Tiermonitoring genutzt werden, um den Zeitpunkt der Abkalbung vorhersagen zu können.

Summary

This study was carried out to monitor the behaviour in prepartum period of 76 Holstein dairy cows in the last 72 Hours of pregnancy by using a sensor-based technology.

The aim of the present study is to find out if the behaviour of Dairy cows is suitable to be employed as birth alarm by measuring the Dry matter intake, Feeding duration and Feeding frequency of the Dairy Cows.

Cows showed differences in their behaviour especially in the last 24 hours before the calving.

It is assumed that a sensor-based technique combined with different data analyzing methods can be used to predict the moment of parturition.

1 Einleitung

Als Arbeitshypothese gilt es zu beantworten, inwieweit Zusammenhänge zwischen ausgewählten Parametern der ante partalen Futterraufnahme und des Fressverhaltens (Frequenz, Dauer) mit Merkmalen zur Abkalbung bestehen und ob die exakte Dokumentation der genannten Parameter a.p. hinreichend genaue Vorhersagen zulässt, um den genauen Abkalbezeitpunkt zu ermitteln.

2 Material und Methode

Die Untersuchungen wurden im peripartalen Zeitraum an 76 hochleistenden Milchkühen der Rasse Holstein Friesian (davon 22 Erstkalbende) in der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Sachsen-Anhalt, Zentrum für Tierhaltung und Technik, Iden, unter Nutzung der in Tabelle 1 genannten Messtechnik durchgeführt.

Tab. 1: Sensor-gestütztes Monitoring
 Tab. 1: *Sensor-based monitoring*

Messtechnik	Parameter
Wiegetröge (KAUFMANN et al., 2007)	Futterraufnahme, Fressdauer, Fresshäufigkeit

Die Primärdatenerfassung erfolgte über Microsoft Excel, für die statistische Bearbeitung wurde das Statistikprogramm SPSS13 genutzt. Mithilfe des Programms Microfit 4.0 wurde die Strukturbruchanalyse berechnet (HASHEM and BAHRAM, 1997).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Trockensubstanzaufnahme

Der CUSUMQ-Test ist ein Bruchtest; er prüft die Stabilität der Regressionparameter im Zeitverlauf.

Abbildung 1 zeigt die CUSUMQ-Kurve der Trockensubstanzaufnahme (TS-Aufnahme) der Versuchstiere von 72 Stunden a.p. bis zur Abkalbung.

Die CUSUMQ-Kurve der TS-Aufnahme liegt von der 72. Stunde bis zur 46. Stunde a.p. und in den letzten 14 Stunden vor der Abkalbung innerhalb der 5 %-Signifikanz-Grenze. Zwischen der 46. und 14. Stunde a.p. bewegt sich die Kurve außerhalb des 5 %-Signifikanz-Niveaus und weist einen deutlichen Bruch im Verlauf der TS-Aufnahme innerhalb des Beobachtungszeitraums auf.

Der Chow-Test ist ein statistischer Test, mit dem sich die Koeffizienten zweier linearer Regressionen auf Gleichheit testen lassen. Der Chow-Test erlaubt zu entscheiden, ob tatsächlich unterschiedliche Strukturen vermutet werden müssen oder nicht.

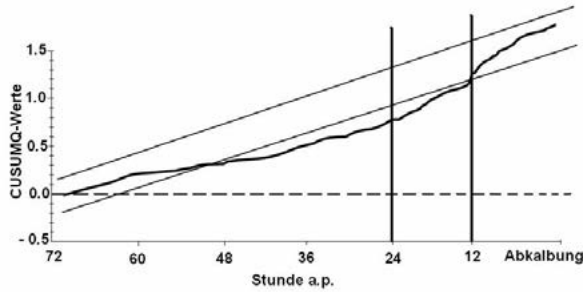


Abb. 1: CUSUMQ der TS-Aufnahme der Versuchstiere
 Fig. 1: CUSUMQ of dry matter intake of animals

Tabelle 2 beinhaltet die Ergebnisse des Chow-Tests.

Tab. 2: Ergebnisse des Chow-Tests zur Entwicklung der TS-Aufnahme
 Tab. 2: Results of the Chow test of the dry matter intake

Stunde a. p.	Regressionsgleichung	P-Werte
72 – Abkalbung	$\hat{Y}_t = 4,8828 + 0,92263Y_{(t-1)}$	
72 – 24	$\hat{Y}_t = 113,6577 - 0,26402Y_{(t-1)}$	CHSQ = 83,6755 [0,000]
24 – Abkalbung	$\hat{Y}_t = -4,8777 + 1,0269Y_{(t-1)}$	F = 41,8377 [0,000]
24 – 12	$\hat{Y}_t = 14,2990 + 0,78719Y_{(t-1)}$	CHSQ = 3,0784 [0,215]
12 – Abkalbung	$\hat{Y}_t = -2,5896 + 0,90830Y_{(t-1)}$	F = 1,5392 [0,239]

Der Chow-Test zeigt nur zur 24. Stunde a.p. einen Bruch. Sowohl deutliche Verschiebungen im Östrogen-Progesteron-Verhältnis als auch insbesondere stressinduzierte Veränderungen dürften für den deutlichen Bruch im Verhaltensverlauf des Parameters TS-Aufnahme 24 Stunden vor Abkalbebeginn verantwortlich zu machen sein. Stressreaktionen werden vom Endokriniem und dem zentralen Nervensystem koordiniert und reguliert.

Dabei erlangt das Corticotropin-Releasinghormon (CRF) eine zentrale Stellung. Es wird im Hypothalamus und Gastrointestinaltrakt synthetisiert und in Stresssituationen ausgeschüttet, stimuliert dabei u. a. die Freisetzung von ACTH und somit die Cortisolsekretion mit der Folge, dass die Futterraufnahme deutlich sinkt (INGVARTSEN und ANDERSEN, 2000; RUCKEBUSCH und MALBERT, 1986; ARASE et al., 1988; GLOWA und GOLD, 1991). Unter der Voraussetzung, dass der peripartale Anstieg des Cortisol-Plasmaspiegels primär CRF- bzw. ACTH-vermittelt ist, kann CRF mit für den peripartalen Futterraufnahmerückgang verantwortlich sein (INGVARTSEN und ANDERSEN, 2000).

In Abbildung 2 ist der Verlauf der Koeffizienten der Regressionsgleichungen des Chow-Tests für die TS-Aufnahme in den letzten 72 Stunden vor der Abkalbung dargestellt.

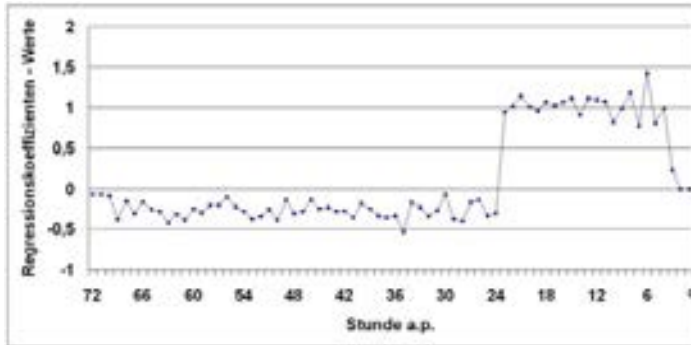


Abb. 2: Koeffizienten der Regressionsgleichungen des Chow-Tests zur Trockensubstanzaufnahme ab der 72. Stunde a.p.

Fig. 2: Coefficient of the regression equations of the Chow test for dry matter intake from 72 hours a.p.

Im Zeitbereich von der 72. bis ca. 24. Stunde a.p. variieren die Koeffizienten der Regressionsgleichungen geringfügig im Bereich zwischen $-0,1$ bis $-0,5$. Im Zeitabschnitt von 24. bis 22. Stunde a.p. verändern sich die Koeffizienten sehr deutlich, schwenken in den positiven Bereich ein und variieren bis zur 3. Stunde a.p. um den Wert $+1,0$.

Da die Koeffizienten sowohl den Trendverlauf als auch die Größenordnung der Veränderung von einer zur nächsten Stunde beschreiben, dürften für einen Vorhersage-Algorithmus diese qualitativ deutlichen Veränderungen von Bedeutung sein, um den Beginn der letzten 24 Stunden a.p. (t) und damit auch den wahrscheinlichen Abkalbezeitpunkt ($= t + 24$ h) vorherbestimmen zu können.

3.2 Fressdauer

Abbildung 3 beschreibt den Verlauf der CUSUMQ-Kurve für die Fressdauer der Versuchstiere innerhalb der letzten 72 Stunden ante partum.

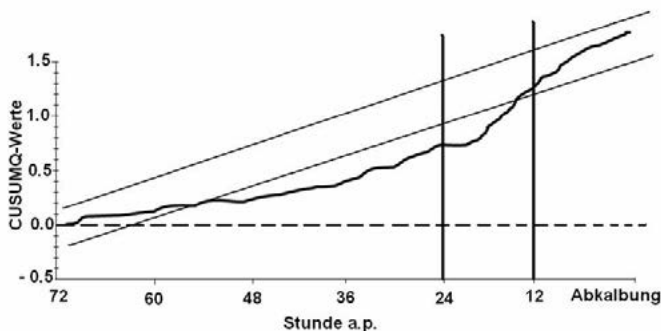


Abb. 3: CUSUMQ der Fressdauer der Versuchstiere

Fig. 3: CUSUMQ of feeding duration of animals

Die CUSUMQ-Kurve der Fressdauer liegt von der 72. Stunde bis zur 50. Stunde a.p. und in den letzten 14 Stunden vor der Abkalbung innerhalb des 5 %-Signifikanz-Bereichs. Zwischen der 50. und 14. Stunde a.p. befindet sich die Kurve außerhalb des 5 %-Signifikanz-Niveaus und weist einen deutlichen Bruch innerhalb des Beobachtungszeitraums auf.

Tabelle 3 vermittelt die Ergebnisse des Chow-Tests.

Tab. 3: Ergebnisse des Chow-Tests zur Entwicklung der Fressdauer
 Tab. 3: Results of the Chow test of the feeding duration

Stunde a.p.	Regressionsgleichung	P-Werte
72 – Abkalbung	$\hat{Y}_t = 0.26064 + 0,94993Y_{(t-1)}$	
72 – 24	$\hat{Y}_t = 9,5254 - 0,092629 Y_{(t-1)}$	CHSQ = 57,4502 [0,000]
24 – Abkalbung	$\hat{Y}_t = -0,55250 + 1,0439 Y_{(t-1)}$	F = 28,7251 [0,000]
24 – 12	$\hat{Y}_t = 2,4429 + 0,66287 Y_{(t-1)}$	CHSQ = 3,4994 [0,174]
12 – Abkalbung	$\hat{Y}_t = -0,47472 + 0,98625 Y_{(t-1)}$	F = 1,7497 [0,198]

Der Chow-Test zeigt nur zur 24. Stunde a.p. einen Bruch. Bezugnehmend auf die Steuerungsvorgänge der Futteraufnahme im peripartalen Zeitraum ist anzunehmen, dass nicht nur die absolute Höhe der aufgenommenen Futtermenge, sondern insbesondere die Verhaltensmerkmale Fressdauer und Fressfrequenz dem Einfluss der stoffwechselgebundenen Auslenkung unterliegen.

In Abbildung 4 ist der Verlauf der Koeffizienten der Regressionsgleichungen des Chow-Tests für die Fressdauer in den letzten 72 Stunden vor der Abkalbung aufgeführt.

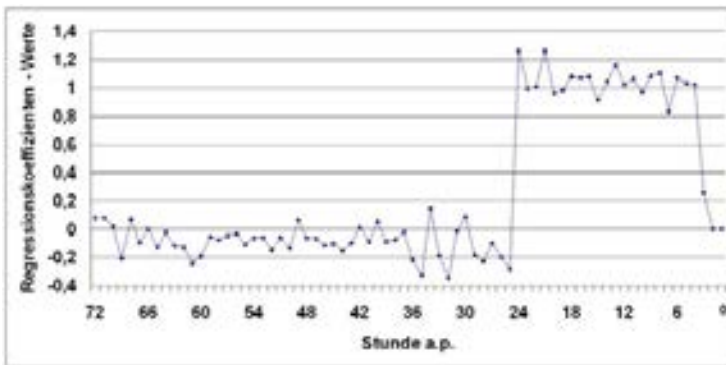


Abb. 4: Koeffizienten der Regressionsgleichungen des Chow-Tests zur Fressdauer ab 72. Stunde a.p.
 Fig. 4: Coefficient of the regression equations of the Chow test for feeding duration from 72 hours a.p.

Ähnlich der TS-Aufnahme variieren die Koeffizienten der Regressionsgleichungen im Zeitbereich von der 72. bis ca. 24. Stunde a.p. nur geringfügig zwischen Werten von -0,1 bis +0,3. Im Zeitabschnitt von der 24. bis 22. Stunde a.p. verändern sich die Koeffizienten sehr deutlich, gehen in den positiven Bereich über und variieren bis zur

3. Stunde a.p. um den Wert +1,0. Auch diese qualitativ deutliche Veränderung dürfte für einen Vorhersage-Algorithmus nutzbar sein, um den Beginn der letzten 24 Stunden a.p. (t) und damit auch den wahrscheinlichen Abkalbezeitpunkt (= t + 24 h) vorherbestimmen zu können.

3.3 Fressfrequenz

Abbildung 5 zeigt die CUSUMQ-Kurve der Fressfrequenz der Versuchstiere innerhalb der letzten 72 Stunden a.p.

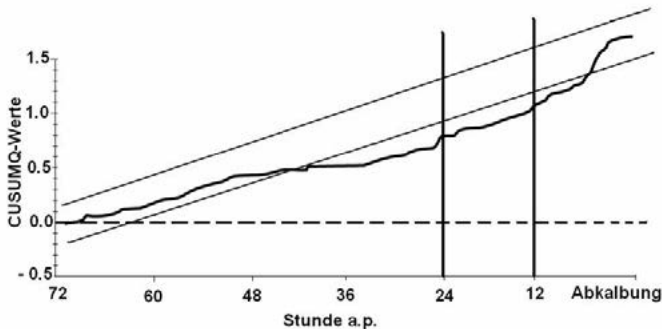


Abb. 5: CUSUMQ der Fressfrequenz der Versuchstiere

Fig. 5: CUSUMQ of feeding frequency of animals

Die CUSUMQ-Kurve der Fressfrequenz liegt von der 72. Stunde bis zur 42. Stunde a.p. und in den letzten vier Stunden vor der Abkalbung innerhalb, zwischen der 42. und 4. Stunde a.p. aber außerhalb des 5 %-Signifikanz-Niveaus und besitzt einen deutlichen Bruch innerhalb des Beobachtungszeitraums. Tabelle 4 beinhaltet die Ergebnisse des Chow-Tests.

Tab. 4: Ergebnisse des Chow-Tests zur Entwicklung der Fressfrequenz

Tab. 4: Results of the Chow test of the feeding frequency

Stunde a.p.	Regressionsgleichung	P-Werte
72 - Abkalbung	$Y_t^{\wedge} = 0,079678 + 0,94028 Y_{(t-1)}$	
72 - 24	$Y_t^{\wedge} = 1,5523 + 0,252038 Y_{(t-1)}$	CHSQ = 17,22560 [0,000]
24 - Abkalbung	$Y_t^{\wedge} = -0,019892 + 0,95810 Y_{(t-1)}$	F = 8,6280 [0,000]
24 - 12	$Y_t^{\wedge} = 1,6115 + 0,98469 Y_{(t-1)}$	CHSQ = 0,74759 [0,387]
12 - Abkalbung	$Y_t^{\wedge} = -0,033439 + 0,91146 Y_{(t-1)}$	F = 0,70899 [0,408]

Obwohl die CUSUMQ-Kurve zur 12. Stunde a.p. eine unkonstante Kurve aufweist, zeigt der Chow-Test nur zur 24. Stunde a.p. einen Bruch. In Abbildung 6 ist der Verlauf der Koeffizienten der Regressionsgleichungen des Chow-Tests für die Fressfrequenz in den letzten 72 Stunden vor der Abkalbung dargestellt.

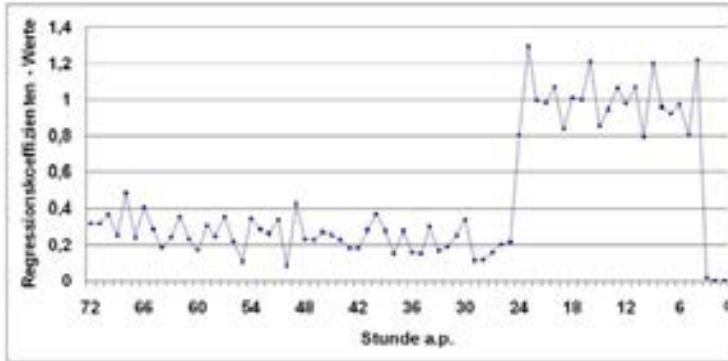


Abb. 6: Koeffizienten der Regressionsgleichungen des Chow-Tests zur Fressfrequenz ab 72. Stunde a.p.
 Fig. 6: Coefficient of the regression equations of the Chow test for feeding frequency from 72 hours a.p.

Im Zeitbereich 72. bis ca. 24. Stunde a.p. variieren die Koeffizienten der Regressionsgleichungen geringfügig im Bereich zwischen +0,1 bis +0,5. Im Zeitabschnitt 24. bis 22. Stunde a.p. verändern sich die Koeffizienten sehr deutlich und variieren bis zur 3. Stunde a.p. um den Wert +1,2. Ebenso wie der Koeffizientenverlauf bei TS-Aufnahme und Fressdauer dürfte diese qualitativ deutliche Veränderung für einen Vorhersage-Algorithmus bedeutend sein, um den Beginn der letzten 24 Stunden a.p. (t) und damit auch den wahrscheinlichen Abkalbezeitpunkt (= t + 24 h) vorherbestimmen zu können.

Literatur

- Kaufmann, O.; Azizi, O.; und Hasselmann, L. (2007): Untersuchungen zum Fressverhalten hochleistender Milchkühe in der Früh-laktation. *Züchtungskunde*, 79 (3), 219–230
- Hashem, M.; Bahram, P. (1997): *Working with Microfit 4.0 Interactive Econometric Analysis*. Oxford University.
- Ingvartsen, K. L.; Andersen, H. R. (2000): Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83, 1573–1597
- Ruckebusch, Y.; Malbert, C. H. (1986): Stimulation and inhibition of food intake in sheep by centrally-administered hypothalamic releasing factors. *Life Sci.* 38, 929–934
- Arase, K.; York, D. A.; Shimizu, H.; Shargill, N.; Bray, G. (1988): Effect of corticotropin-releasing factor on food intake and brown adipose tissue thermo genesis in rats. *Am. J. Physiol.* 255, E255–E259
- Glowa, J. R.; Gold, P. W. (1991): Corticotropin releasing hormone produces profound anorexic effects in rhesus monkey. *Neuropeptides* 18, 55–61

Chemosensor-System zur Qualitätseinstufung von Silagen

Chemosensor-system for rating of silage quality

FABIAN ROSS¹, WOLFGANG BÜSCHER¹, TORSTEN HAAS¹, PETER BOEKER¹,
KATRIN GERLACH², KARL-HEINZ SÜDEKUM², CHRISTIAN MAACK¹

¹ Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Landtechnik, Nußallee 5, 53115 Bonn

² Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn

Schlüsselwörter: Silagebewertung, Silage, Futterqualität, Elektronische Nase

Keywords: appraisal of fodder, silage, fodder quality, electronic nose

Zusammenfassung

Die Qualität von Silage wird bei der Öffnung der Konserve praxisüblich anhand eines Sinnenschlüssels bewertet. Der gleiche Sinnenschlüssel führt bei mehreren Anwendern jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen, da die Beurteilung von den Sinnen des Anwenders abhängig und damit sehr subjektiv ist. Analytische Bestimmung des Nährstoffgehaltes, der Gärtsäuren und des Keimbesatzes sind zeit- und kostenaufwendig und scheiden damit zur regelmäßigen Qualitätskontrolle der Silage aus. Das Institut für Landtechnik der Universität Bonn arbeitet an einem Messverfahren zur objektiven Qualitätsbewertung von Silage, das auf Chemosensoren basiert. Erste Untersuchungsreihen im Labor wurden durchgeführt.

Summary

The evaluation of silage quality contains currently additional to analytic methods the rating of crop characteristics by human sense. Analytic methods are time-consuming and expensive. The rating of crop characteristics by human sense is not objective. Actually the Institute of Agricultural Engineering, Bonn University works at experiments to evaluate silage quality in a technical and objective way by using chemosensors. First measurements at samples of corn silage were carried out.

1 Einleitung

Zum Zeitpunkt der Siloöffnung wird üblicherweise die Beurteilung der Silagequalität vorgenommen („Siliererfolg“). Die Bewertung der Silagequalität erfolgt dabei nach einem Punktesystem in Abhängigkeit von Nährstoffgehalten, den Gärproduktgehalten an Butter- und Essigsäure sowie des erzielten pH-Wertes [1]. In [2] wird empfohlen, diese Untersuchungen durch eine sensorische Bewertung zu ergänzen. Diese erfolgt praxisüblich mittels eines Sinnenschlüssels, bei dessen Anwendung der Geruch, die Farbe, das Gefüge und der Schimmelbesatz der Silage durch die menschliche Sinneswahrnehmung betrachtet und beurteilt wird. Dabei kommt dem Geruch eine besondere Bedeutung zu. Anhand des Geruchs können erhöhte Gehalte an unerwünschten Gärprodukten wie Buttersäure und Essigsäure, die charakteristisch für eine Fehlgärung sind, auch ohne Analyse erkannt werden.

Insgesamt werden bei der Gärung verschiedene flüchtige Komponenten gebildet, die als Geruchsstoffe wahrgenommen werden können [3]. Der Geruch einer Silage ist damit immer das Ergebnis einer Zusammensetzung vieler geruchswirksamer flüchtiger Stoffe, die in sehr unterschiedlichen Konzentrationen in einer Probe enthalten sein können und so unterschiedlich dominant im Geruchsbild erscheinen. Gerade die Bewertung von Geruchsparametern ist jedoch stark von der subjektiven Wahrnehmung der Person abhängig, was die Vergleichbarkeit erschwert. Die Messung gasförmiger Verbindungen kann analytisch über die Gaschromatographie und Massenspektrometrie sowie deren Kopplung erfolgen. Der messtechnische Aufwand ist jedoch hoch, erfordert geschultes Personal und Erfahrung bei der Datenauswertung. Für den Einsatz vor Ort ist diese Methode deshalb nicht geeignet. Ein für den praktischen Einsatz am Silo geeignetes Messsystem sollte möglichst leicht anwendbar sein und zudem in kurzer Zeit gaschemische Daten zur Verfügung stellen.

Alternativ können Gaszusammensetzungen mit elektronischen Sensorsystemen erfasst werden. Für spezifische Applikationen wurde ein Online-Geruchsmessverfahren am Institut für Landtechnik der Universität Bonn entwickelt [4].

In Form von Sensor-Arrays werden mehrere Sensoren gleichen Messprinzips verwendet, die sich in ihrer Empfindlichkeit auf unterschiedliche Substanzen unterscheiden. Methodisch abgeleitet wurde das Konzept der Sensor-Arrays aus der Funktionsweise des Geruchssinnes, der ebenfalls die Daten einer begrenzten Anzahl von Riech-Sinneszellen zur Gewinnung von komplexen Geruchseindrücken verwertet [5a; 5b].

2 Zielsetzung

In dem beschriebenen Projekt soll eine alternative Methode zu mikrobiologischen und chemischen Analysen sowie zu Tierversuchen entwickelt werden. Das Verfahren soll – im Hinblick auf die weitverbreitete subjektive Bewertung anhand von Sinnenschlüsseln – eine Objektivierung der Qualitätsbewertung ermöglichen.

Übergeordnetes Ziel des Projektes ist die Reduzierung des Risikos von Qualitätsverlusten durch Fehlgärungen und durch die Nacherwärmung. Mit der Verbesserung der

Futterqualität ist ein Beitrag zur Produktions- und Produktsicherheit im Sinne des Tier- und Verbraucherschutzes verbunden.

Diese Zielsetzung soll durch folgende Arbeitsschritte erreicht werden:

Zunächst muss eine Methode zur effizienten Entnahme der Silagegase entwickelt werden. Das bedeutet einerseits, dass die im Silagegas vorhandenen flüchtigen Moleküle nicht in die Umgebungsluft entweichen dürfen. Andererseits ist eine Beeinflussung der Messung durch die Umgebungsluft auszuschließen.

Zur Gewinnung geeigneter Daten ist es außerdem notwendig, die optimalen Einstellungen des Chemosensor-Systems in den verschiedenen Untersuchungsphasen zu finden. Anhand einer geeigneten Methode soll die Analyse der Ergebnisse erfolgen und abschließend eine Bewertung durchgeführt werden, inwieweit Chemosensor-Systeme zur Beurteilung der Silagequalität geeignet sind.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Für den eigentlichen Messvorgang der Silage wird zunächst vorgereinigte Luft durch den Aktivkohle-Filter angesaugt. Anschließend wird die Luft durch das Probeglas, in dem sich die Silageprobe befindet, geleitet und mit Silagegasen angereichert. Die angereicherte Luft wird dann in einer Gasaufbereitung von Wasser und Partikeln gereinigt und zum Chemosensor-System weitergeleitet, wo die Messung erfolgt, vgl. Gasweg (2).

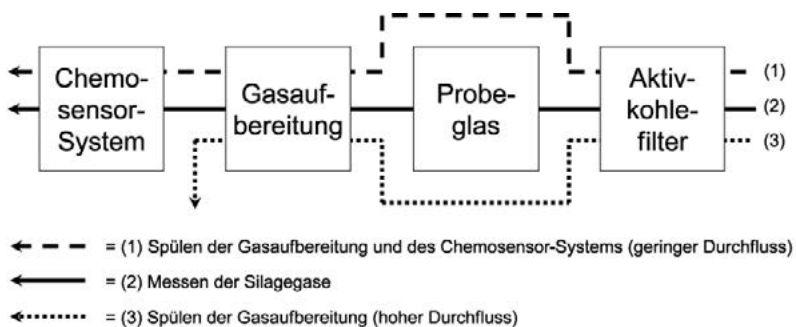


Abb. 1: Versuchsaufbau

Fig. 1: Test preparation

Für den Reinigungsvorgang wurden zusätzliche Anpassungen vorgenommen. Die Silagen haben zum Teil einen starken Eigengeruch, welcher die Probe- und Messtechnik kontaminieren kann. Dies verursacht lange Spülzeiten, da die Probeapparatur mit Ausnahme des Probenglases nicht mit Wasser gespült werden kann. Stattdessen erfolgt das Reinigen der Gasaufbereitung und des Chemosensor-Systems sowie der Verbindungsleitungen mit Luft. Dazu kann die „reine“ Luft aus dem Aktivkohle-Filter über eine Umgehungsleitung (By-Pass) am Probeglas vorbei direkt zur Gasaufbereitung und

zum Chemosensor-System geleitet werden (vgl. Gasweg 1). Alternativ ist es möglich, die Gasaufbereitung separat zu spülen. Diese Variante hat den Vorteil, dass größere Luftmengen durch die Gasaufbereitung strömen und dadurch die Effektivität der Reinigung erhöht wird (vgl. Gasweg 3).

3.2 Funktionsweise Schwing-Quarz-Sensoren

Das eigentliche Messen der in dem Silagegas enthaltenen Moleküle erfolgt mittels der sogenannten Schwing-Quarz-Technologie (Abb. 2).

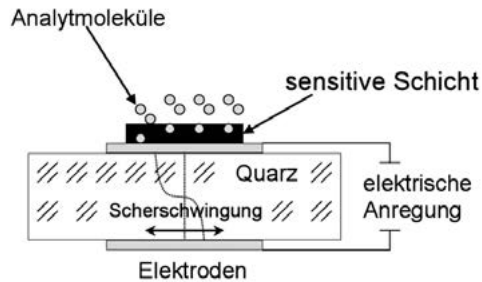


Abb. 2: Funktionsweise eines Schwing-Quarz-Sensors [6]

Fig. 2: Operating mode of a quartz crystal microbalance [6]

Dazu wird ein Quarzplättchen durch den inversen Piezoeffekt zur Schwingung ange-regt. Die Moleküle werden in einer auf dem Quarz aufgebracht-ten speziellen Schicht absorbiert und die dadurch hervorgerufene Massenänderung des Quarzes führt zu einer Frequenzänderung der Quarzoszillation.

Zur Steigerung der Messempfindlichkeit und der analytischen Aussagekraft werden die zu messenden Gasmoleküle zunächst in einem Adsorber gebunden, dann thermisch desorbiert und in konzentrierter Form zu den Quarz-Sensoren geleitet.

4 Ergebnisse

4.1 Messungen mit Reinsäure

Die Parametrisierung des Chemosensor-Systems hat einen großen Einfluss auf die Messungen, da bei idealen Parametereinstellungen ein Maximum an verwertbaren Daten erreicht werden kann.

Für die Anpassung der Temperatur in der Desorptionsphase wurden verschiedene Messreihen mit reinen organischen Säuren durchgeführt. In Abbildung 3 ist eine Messreihe mit Essigsäure dargestellt.

Die Messreihe zeigt die Abhängigkeit der Signalstärke von der Temperatur in der Desorptionphase. Die Anreicherungseinheit sammelt in der Adsorptionsphase bei niedriger Temperatur die von der Silage abgegebenen Gase und Geruchsstoffe. In den Desorptionsphasen werden bei erhöhten Temperaturen die Gase wieder freigesetzt. Durch eine längere Anreicherungszeit in der Adsorptionsphase bei hohem Durchfluss und eine

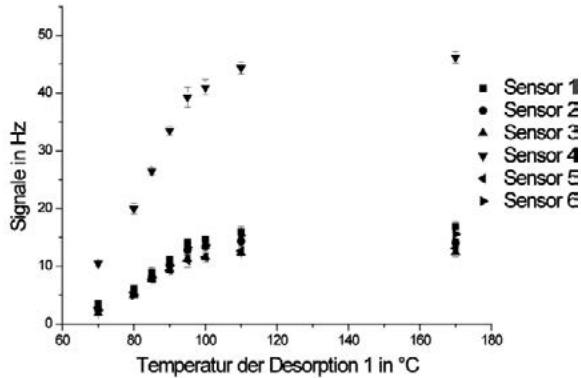


Abb. 3: Essigsäure, Signalthöhen in Abhängigkeit von der Adsorbentemperatur
 Fig. 3: Acetic acid, signal level in reference to adsorber temperature

schnelle Aufheizung bei niedrigem Durchfluss ergibt sich die erwünschte Erhöhung der Gaskonzentration für die Sensoren.

Nacheinander werden Gase bei verschiedenen Temperaturniveaus freigesetzt. So können leichtflüchtige Gase in der Desorptionsphase 1, mittel- und schwererflüchtige dagegen in den Desorptionsphasen 2 und 3 gemessen werden. Die in Abbildung 3 dargestellte Messung zeigt den Anstieg der Signale in Abhängigkeit von der Desorptionstemperatur. Bei 110 °C wird für Essigsäure bereits die vollständige Desorption und damit der maximale Signalwert erreicht.

Abbildung 3 zeigt auch sehr deutlich, dass die Signalausschläge sehr sensorspezifisch sind. Lediglich Sensor 4 reagiert auf Essigsäure mit einer starken Signaländerung.

Zusätzlich werden Messungen dieser Art durchgeführt, um die Messeigenschaften des Chemosensor-Systems über lange Versuchszeiträume zu überprüfen.

4.2 Messungen mit Silage

Die Versuchs-Silagen wurden in Anlehnung an die DLG-Richtlinien [1] in Siliergläsern hergestellt.

Dabei wurde ein Teil der Proben ausnahmslos unter anaeroben Bedingungen gelagert, während der andere Teil durch zweimaliges Öffnen für 12 Stunden zunächst zum Verderb angeregt und später aerob gelagert wurde, sodass eine Erwärmung des Substrates einsetzte. Das Substrat wurde im Klimaschrank bei 25 °C gelagert. Durch die Verwendung von isolierten Boxen wurde eine Abkühlung der Proben durch die umgebende Luft verhindert. Die Proben wurden zur Untersuchung entnommen, sobald sich die Temperatur um 3 K gegenüber der Umgebungsluft erhöht hatte. Auf diese Weise war es möglich, unterschiedliche Silagequalitäten aus dem gleichen Ausgangssubstrat zu erzeugen. Die so erzeugten Silagen wurden nach dem DLG-Sinnesschlüssel [2] bewertet und mit dem Chemosensor-System untersucht.

Der Verderbsverlauf der Silagen war sehr unterschiedlich. Trotz gleichem Ausgangssubstrat, analoger Behandlung und Lagerung, war der Zeitraum, in dem eine Erwärmung

um 3 K gegenüber der Umgebungsluft stattfand, sehr unterschiedlich. Das Gleiche gilt für den Geruch der Silagen, der ebenfalls starke Differenzen aufwies.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse von einer guten Maissilage (aromatischer Geruch) und von einer nacherwärmten Maissilage (alkoholischer Geruch) dargestellt.

Die Messdaten zeigen zwei Effekte, die für Messungen mit Chemosensor-Systemen charakteristisch sind. Die Rangfolge der Sensoren und der Abstand der Sensoren zueinander ist eine Signalmusterinformation, die mit der Zusammensetzung der Silagegase verbunden ist. Unterschiedliche Muster zeigen unterschiedliche Zusammensetzungen an. Zusätzlich kann die Signalthöhe der Sensoren die Konzentration der gemessenen Gase anzeigen. Beide Informationen können zur Unterscheidung und Bewertung von Silagen verwendet werden. Im Forschungsprojekt wird untersucht, welche Datenanteile - einzeln oder kombiniert - eine Prognose von Silagequalitäten erlauben.

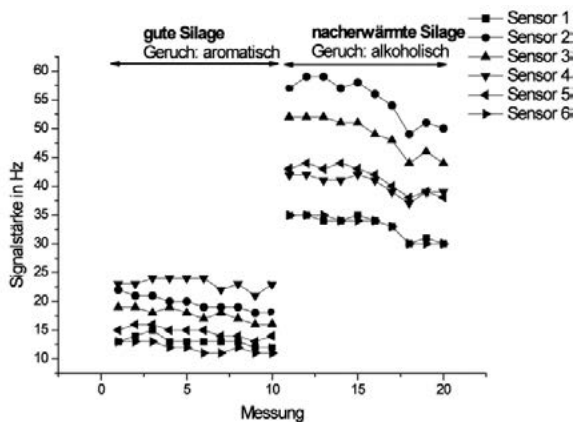


Abb. 4: Beispiele von Signalmustern

Fig. 4: Examples of signal patterns

Die Silageproben in Abbildung 4 unterscheiden sich sowohl im Signalmuster als auch in der Signalthöhe. Sensor 4 ist bei der „aromatischen“ Silage der Sensor mit der höchsten Signalstärke, bei der alkoholischen Silage bewegen sich dessen Werte dagegen im mittleren Bereich. Die Signale bei der alkoholisch riechenden Silage sind deutlich höher als bei der aromatischen Silage.

5 Fazit

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass sich Silage als Produkt eines biologischen Prozesses trotz scheinbar gleicher Konservierungs- und Lagerungsbedingungen mikrobiologisch sehr unterschiedlich entwickeln kann. Sollen Messungen mit unterschiedlichen Einstellungen wiederholt werden, so ergibt sich die Schwierigkeit, identisches Material über einen längeren Zeitraum zu verwenden. Ein „Fixieren“ der Umsetzungsprozesse zur Erzeugung eines bestimmten Verderbsstatus ist versuchstechnisch problematisch.

Der Versuchsaufbau ermöglicht eine effiziente Verwertung der Gase aus der Silage, sodass die Geruchsstoffe über den benötigten Zeitraum mit ausreichender Signalstärke vermessen werden können. Die ersten Untersuchungsergebnisse stimmen optimistisch, dass eine Qualitätseinstufung durch ein Chemosensor-System möglich ist.

Nachdem die Methode reproduzierbare Ergebnisse liefert, kann im zweiten Versuchsabschnitt das Futteraufnahmeverhalten von Ziegen bei unterschiedlichen Verderbsstadien parallel untersucht werden.

Literatur

- [1] DLG – Ausschuss für Futterkonservierung (Hrsg.) (2006): Grobfutterbewertung. Teil B - DLG-Schlüssel zur Beurteilung von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchung. DLG-Information 2/2006, 1–4
- [2] DLG – Ausschuss für Futterkonservierung (Hrsg.) (2004): Grobfutterbewertung. Teil A - DLG-Schlüssel zur Beurteilung von Grünfutter, Silage und Heu mithilfe der Sinnenprüfung. DLG-Information 1/2004, 1–16
- [3] Cherney, J. H.; Cherney, D. J. R. (2003): Assessing silage quality. In: Silage Science and Technology, Eds. Buxton, D. R.; Muck, R. E.; Harrison, J. H. Agron. Ser. 42. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 2003, 141–198
- [4] Boeker, P. (2003): Die Objektivierung des Geruchseindrucks. Messung und Modellierung. Habilitationsschrift, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- [5a] Boeker, P. (2010): Elektronische Nasen: Das methodische Konzept und seine Problematik. Teil 1: Einführung und Problemlage. In: Gefahrst. Reinhalt. Luft, Jg. 70, H. 7/8, 314–320
- [5b] Boeker, P. (2010): Elektronische Nasen: Das methodische Konzept und seine Problematik. Teil 2: Methodische Anwendung. In: Gefahrst. Reinhalt. Luft, Jg. 70, H. 10, 431–436
- [6] Haas, T.; Diekmann, B.; Schulze Lammers, P.; Boeker, P. (2008): A method for online measurement of odour with a chemosensor system. In: Sens. Actuator B-Chem., Jg. 132, H. 2, 545–550

Bestimmung von Rinderhaarallergenen in landwirtschaftlichen Betrieben mithilfe eines neu entwickelten Immunoassays

Determination of cow hair allergens on cattle farms using a newly developed immunoassay

E. ZAHRADNIK¹, I. SANDER¹, R. SCHIERL², L. BRUCKMAIER³, C. FLEISCHER¹, A. FLAGGE¹, J. SÜLTZ⁴, D. NOWAK², T. BRÜNING¹, M. RAULF-HEIMSOTH¹

¹ Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)

² Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität München

³ Land- und forstwirtschaftliche Berufsgenossenschaft Niederbayern/Oberpfalz und Schwaben, Landshut

⁴ Praxis für Arbeitsmedizin, Innere Medizin, Lungen- und Bronchialkunde, Neusäß

Schlüsselwörter: Rinderhaarallergene, Allergie, Expositionsbestimmung, Immunoassay

Keywords: cow hair allergens, occupational allergy, exposure assesment, immunoassay

Zusammenfassung

Der Umgang mit Rindern kann allergische Atemwegserkrankungen bei exponierten Personen hervorrufen. Verantwortliche Auslöser der allergischen Symptome sind Proteine, die hauptsächlich in Rinderhaaren enthalten sind.

Um die Allergenexposition erfassen zu können, wurde ein sensitiver Immunoassay für den Nachweis der Rinderhaarproteine entwickelt und der Allergengehalt in Staubproben aus unterschiedlichen Bereichen der landwirtschaftlichen Betriebe bestimmt.

Die höchste Allergenbelastung wurde in Rinderställen gemessen. Hohe Allergenkonzentrationen wurden aber auch in den Wohnungen der Landwirte detektiert, wobei signifikant erhöhte Werte in den Umkleideräumen gefunden wurden. Dies deutet auf einen Allergentransfer vom Stall in den Wohnbereich über die Arbeitskleidung hin.

Summary

Contact to cattle may cause allergic respiratory diseases in exposed persons. Responsible inducers of the allergic symptoms are proteins that are contained mainly in bovine hair.

To estimate allergen exposure, a sensitive immunoassay for the detection of cow hair proteins was developed and allergen content was determined in dust samples from different areas of cattle farms.

The highest allergen burden was measured in cattle stables. High allergen concentrations were also detected in farmers' homes, with significantly higher values in changing rooms. This may be due to allergen transfer from the cowshed into the living area through the farmers' clothes.

1 Einleitung

Die Rinderallergie gehört zu den typischen berufsbedingten Atemwegsallergien im landwirtschaftlichen Arbeitsbereich und nimmt in Deutschland an Bedeutung zu. Bei etwa 10 % der Fälle von berufsbedingten allergischen Atemwegserkrankungen bei Landwirten, die an die landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften gemeldet werden, handelt es sich um Patienten mit Verdacht auf Rinderallergie (HEUTELBECK et al., 2007). Die Erkrankung manifestiert sich bei jedem Dritten bereits vor dem 35. Lebensjahr. Einen ähnlichen Trend zeigen die Untersuchungen in landwirtschaftlichen Berufsschulen. Zum Ende der Ausbildung weisen ca. 12 % der Berufsanfänger bereits eine Sensibilisierung gegen Rinderallergene auf (PABST et al., 2007; HEUTELBECK et al., 2009).

Die Allergieauslöser sind Proteine, die vor allem in Rinderhaaren und -hautschuppen vorkommen, aber auch im Speichel, Urin, Fruchtwasser, in Milch und Fleisch zu finden sind (PRAHL, 1981). In weiteren Studien wurde ein Protein mit einem Molekulargewicht von 20 Kilo-Dalton als Hauptallergen identifiziert und als Bos d 2 bezeichnet (YLONEN et al., 1990; RAUTIAINEN et al., 1997). Bos d 2 gehört zu der Proteinfamilie der Lipocaline, die bei Säugetieren hauptsächlich für den Transport von Pheromonen und Duftstoffen verantwortlich sind (RAUTIAINEN et al., 1998). Ähnlich wie bei anderen tierischen Lipocalinen weist Bos d 2 eine Tendenz auf, an kleine Staubpartikel (kleiner als 10 µm) zu binden (TUROWSKI et al., 2007). Diese kleinen Partikel sedimentieren kaum und können bei der Einatmung tief in die Atemwege gelangen. Begünstigt durch die guten Schwebeigenschaften werden die Allergene durch das Festsetzen an der Arbeitskleidung und dem Haar bis in den Wohn- und Schlafbereich des Landwirtes hinein übertragen. Dort können sie sich in Textilien wie Teppichen, Polstermöbeln und Matratzen anlagern und bei Staubaufwirbelung zu hohen allergenen Belastungen führen. Somit besteht der Allergenkontakt nicht nur bei Tätigkeiten im Stall, sondern auch im häuslichen Bereich. Frühere Studien wiesen darauf hin, dass zwischen der Konzentration an Rinderhaarallergenen im Hausstaub von Landwirten und deren Sensibilisierung gegen Rinderhaar eine starke Beziehung besteht (HINZE et al., 1997; BERGER et al., 2005). Um bei den betroffenen Landwirten eine Verschlimmerung und Chronifizierung der Erkrankung zu vermeiden, ist neben der frühzeitigen Diagnosestellung eine Minderung der Allergenexposition dringend erforderlich. Auch durch die Meidung der Tätigkeiten im direkten Umgang mit Rindern ist eine signifikante Reduktion der Allergenexposition im häuslichen Umfeld nicht gewährleistet, da die Allergene auch durch Familienmitglieder dorthin transportiert werden können. Es besteht daher die Notwendigkeit, die Allergenbelastung sowohl am Arbeitsplatz als auch in den angrenzenden Wohnbereichen von betroffenen Landwirten zu quantifizieren. Zur Bestimmung von Rinderhaarallergenen stehen keine kommerziellen Testverfahren zur Verfügung. Ziel der Studie war deshalb die Entwicklung einer sensitiven Messmethode in Form eines Sandwich-ELISA (enzyme linked immunosorbent assay) zum Nachweis von Rinderhaarproteinen in arbeitsplatzbezogenen Staubproben (ZAHRADNIK et al., 2011).

2 Methodik

Zur Gewinnung spezifischer Antikörper für die Assayentwicklung wurden weibliche Kaninchen der Rasse New Zealand White immunisiert. Dafür wurde den Tieren ein Proteinextrakt subkutan injiziert, der aus Haarproben unterschiedlicher Rinderrassen (Fleckvieh, Schwarzbunte, Braunvieh, Rotbunte, Pinzgauer, Montbéliard, Weiß-blaue Belgier) präpariert wurde. Die Antigeninjektionen wurden in ca. 4-Wochen-Abständen wiederholt, um die Konzentration der spezifischen Antikörper zu erhöhen. Die gebildeten rinderhaar-spezifischen Antikörper wurden mittels ProteinG-Affinitätschromatographie aus dem Kaninchenserum isoliert und angereichert. Die gereinigten polyklonalen Antikörper konnten dann als Fang- und in biotinylierter Form als Nachweis-Antikörper im Sandwich-ELISA eingesetzt werden. Um die optimalen Konzentrationen der beiden Komponenten zu ermitteln, wurden die verwendeten Antikörper jeweils in unterschiedlichen Verdünnungen getestet. Die Kombination mit der niedrigsten Nachweisgrenze wurde als Endbedingung übernommen. Zur Herstellung des Standards für die Kalibrierung des Assays wurde kommerziell erhältliches Rinderhaar-Material verwendet (Allergon, Ångelholm, Schweden). Die genaue Vorschrift ist der Publikation von ZAHRADNIK et al. (2011) zu entnehmen.

Zur Spezifitätsüberprüfung des entwickelten Rinderhaar-Assays wurden umfangreiche Kontrollmessungen mit folgenden Extrakten durchgeführt:

- Getreidearten (Weizen, Roggen, Hafer, Gerste, Dinkel, Hirse, Soja)
- Hausstaubmilben (*Dermatophagoides pteronyssinus*, *Dermatophagoides farinae*, *Dermatophagoides microceras*, *Euroglyphus maynei*)
- Vorratsmilben (*Acarus siro*, *Lepidoglyphus destructor*, *Tyrophagus putrescentiae*, *Glycyphagus domesticus*)
- Schimmelpilze (*Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium chrysogenum*, *Trichoderma viride*, *Stachybotris chartarum*)
- Säugetierepithelien (Ziege, Schaf, Schwein, Pferd, Katze, Hund und humane Haare)
- Lebensmittel (Milch, Joghurt, Käse, Fleisch)

Alle Extrakte wurden in verschiedenen Verdünnungen im Sandwich-ELISA eingesetzt und auf ihre mögliche Kreuzreaktivität getestet.

Zur Validierung des Assays wurde der Gehalt an Rinderhaarallergenen in Staubproben quantifiziert. Die Staubproben wurden in verschiedenen Bereichen von landwirtschaftlichen Betrieben (Rinderstall, Schmutzschleuse, Wohnbereich) und in städtischen Haushalten gesammelt. Die Staubsammlung erfolgte mit so genannten EDC-Samplern (electrostatic dust fall collector), die eine passive Sammlung von sedimentierenden, luftgetragenen Allergenen auf staubbindenden Tüchern ermöglichen (Abb. 1). Diese Methode der Staubsammlung wurde kürzlich von der niederländischen Arbeitsgruppe am Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) der Universität in Utrecht entwickelt (Noss et al., 2009). Die Staubsammlung erfolgte über einen Zeitraum von 14 Tagen auf einer Höhe von 0,8–2 m. Die Tücher wurden in 20 ml Phosphat-gepufferter Kochsalzlösung pH 7,4 für 1 h bei Raumtemperatur extrahiert. Nach der Zentrifugation (15 min bei 3000 g) wurden die Überstände portioniert und bis zur Analyse bei –80 °C gelagert.



Abb. 1: Der EDC-Sampler besteht aus vier elektrostatischen Tüchern, die in einer Plastik-Faltmappe (40 x 30 cm) befestigt sind. Die Staubsammlung erfolgt in der horizontalen Position über einen Zeitraum von 14 Tagen

Fig 1.: The EDC sampler consists of four electrostatic cloths, which are mounted in a plastic folder (40 x 30 cm). The dust is collected in the horizontal position for a period of 14 days

3 Ergebnisse

3.1 Rinderhaar-Assay

Der neu entwickelte Rinderhaar-ELISA weist mit einer Nachweisgrenze von 0,1 ng/ml eine hohe Sensitivität auf und ist mit den Intra- und Interassay-Variationskoeffizienten von 4 % bzw. 10 % hoch reproduzierbar. Bei der Spezifitätsüberprüfung konnte mit allen getesteten Milben-, Schimmelpilz- und Getreideextrakten auch bei hohen Proteinkonzentrationen keine Reaktivität nachgewiesen werden. Durch dieses Resultat konnte eine mögliche Fehlbeurteilung der Proben durch derartige Kontaminaten weitgehend ausgeschlossen werden. Diese Substanzen können in hohen Mengen im Stallstaub enthalten sein. Dementsprechend würde deren Erkennung zu einem verfälschten Ergebnis in Bezug auf den Rinderhaarallergengehalt führen. Dagegen zeigte der Assay Reaktivität mit allen getesteten Tierepithelextrakten, wobei die Stärke der Reaktionen unterschiedlich ausgeprägt war (Abb. 2A). Die stärkste Reaktion wurde mit Ziegenepithelien beobachtet (um Faktor 10 niedriger als Rinderhaare). Alle anderen Tierspezies (Schwein, Schaf, Pferd etc.) wurden erst ab einem Faktor 500 und mehr im Test erkannt. Der Extrakt aus humanen Haaren reagierte erst beim Einsatz einer 200 000-fachen Proteinmenge. Bei hohen Proteinkonzentrationen konnte Reaktivität auch bei allen getesteten Lebensmittelextrakten tierischen Ursprungs (Milch- und Fleischprodukte) detektiert werden (Abb. 2B).

Die vorhandene Kreuzreaktivität zwischen Rinderhaar- und anderen tierischen Antigenextrakten wurde bereits in früheren Studien beschrieben (PRAHL, 1981) und ist auf Albumine und Milchproteine zurückzuführen, die in Bezug auf ihre Sequenz, Struktur und biologische Funktion hohe Analogien aufweisen (SPITZAUER, 1999).

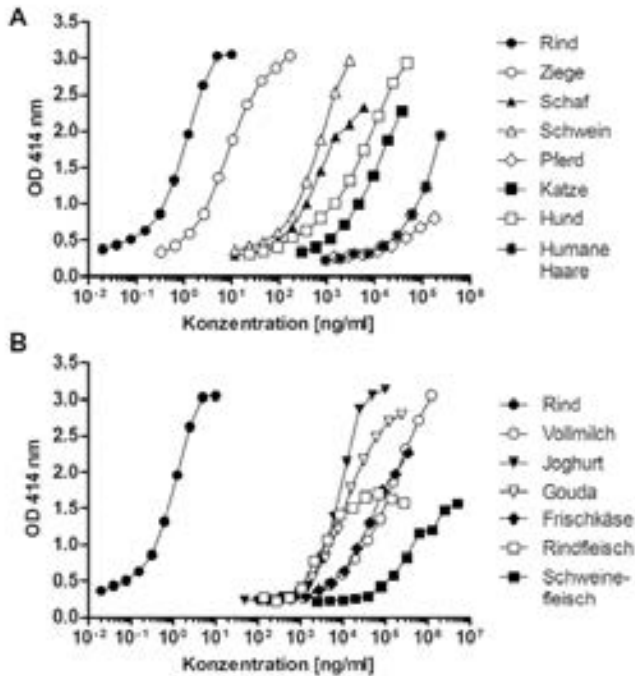


Abb. 2: Spezifität des Rinderhaar-Sandwich-ELISA, getestet mit Extrakten aus Epithelien verschiedener Säugetiere (A) und Lebensmittelextrakten (B)

Fig. 2: Specificity of the cow hair allergen sandwich ELISA based on tests using various mammalian epithelial extracts (A) and food extracts (B)

3.2 Quantifizierung von Rinderhaarallergenen in Staubproben

Um das neu entwickelte Testsystem gegen Rinderhaarallergene in der Praxis zu überprüfen, wurde der Assay zur Beurteilung der Allergenbelastung in landwirtschaftlichen Betrieben mit Rinderhaltung eingesetzt. Aufgrund der guten Schwebbeeigenschaften der Rinderhaarallergene wurden luftgetragene Staubproben durch Einsatz von EDC-Samplern gesammelt. Diese Methode ist sehr kostengünstig, leicht durchführbar und gut geeignet für umfangreiche Expositionsmessungen. Die EDC-Sampler wurden in Rinderställen (n = 37), in Schmutzschleusen (Umkleideräume, n = 30) und in verschiedenen Räumen der Wohnungen der Landwirte (Wohnzimmer, Schlafzimmer, Küche etc.; n = 98) ausgelegt. Zum Vergleich wurden die EDC-Sampler zusätzlich in städtischen Haushalten eingesetzt (n = 32).

Bei der Bestimmung der Exposition wurde erwartungsgemäß eine Abnahme der Allergenmenge vom Arbeitsbereich zum Wohnbereich der Landwirte festgestellt (Abb. 3). Die höchste Allergenbelastung wurde mit einem Median von 52 000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ in den Rinderställen gemessen (Bereich: 5 000–560 000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$). Deutlich niedriger war die mittlere Allergenbelastung in den Schmutzschleusen (Median: 105 $\mu\text{g}/\text{m}^2$), die einen Übergang zwischen Arbeits- und Wohnbereich der Landwirte darstellen. Die gemessenen Allergengen in den Wohnräumen der Landwirte wiesen eine sehr breite Streuung zwischen

individuellen EDC-Proben auf (0,3–1400 $\mu\text{g}/\text{m}^2$). Der für den ländlichen Wohnbereich ermittelte Median von 12 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ lag aber signifikant niedriger als in der Schmutzschleuse und war um den Faktor 60 gegenüber den städtischen Kontroll-Haushalten (Median 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^2$) erhöht. Die Ergebnisse passen gut zu der Annahme, dass durch die Arbeitskleidung erhebliche Mengen an Allergenen vom Stall in die primär unbelasteten Wohnbereiche übertragen werden. Die Arbeitskleidung wird von vielen Landwirten oft vor dem Betreten ihres Wohnbereichs zu den Mahlzeiten oder für Büroarbeiten nicht gewechselt. Dieser Allergentransfer sollte unbedingt vermieden werden, seitdem bekannt ist, dass Konzentrationen an Rinderhaarallergenen im Hausstaub aus dem Wohnbereich ausreichen können, um bei den sensibilisierten Landwirten Symptome auszulösen.

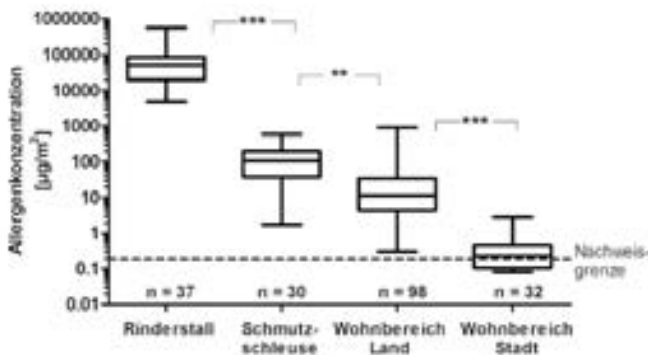


Abb. 3: Rinderhaarallergen-Konzentrationen in EDC-Proben aus verschiedenen Bereichen der landwirtschaftlichen Betriebe und aus städtischen Haushalten. P-Werte kleiner 0,05 wurden als signifikant betrachtet (***: p-Wert < 0,001; **: p-Wert < 0,01)

Fig. 3: Cow hair allergen concentrations on EDCs from different areas of farms and from urban households. Values of $p < 0.05$ were considered to be significant (***: p-value < 0.001; **: p-value < 0.01)

4 Schlussfolgerungen

Der neu entwickelte Rinderhaar-ELISA ist sensitiv genug, um Rinderhaarallergene in passiv gesammelten Luftstaubproben zu detektieren. Deutliche Unterschiede in der Allergenbelastung wurden zwischen verschiedenen Expositionsbereichen auf Bauernhöfen nachgewiesen. Eine Übertragung von Rinderhaarallergenen vom Stall in die primär unbelasteten Wohnungen der Landwirte konnte festgestellt werden. Somit kann das Testverfahren zur Quantifizierung der Allergenbelastung sowohl am Arbeitsplatz als auch im häuslichen Bereich eingesetzt werden.

Diese Untersuchungen verdeutlichten auch die Bedeutung von quantitativen Allergenbestimmungen zur Erfassung der Exposition. Erst diese ermöglichen einerseits die Klärung der Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Allergenexposition und Auftreten von berufsbezogenen allergischen Symptomen. Andererseits dient es dazu, Präventionsmaßnahmen einzuführen, mit denen die Allergenbelastung reduziert oder vermieden werden kann.

Literatur

- Berger, I.; Schierl, R.; Ochmann, U.; Egger, U.; Scharrer, E.; Nowak, D. (2005): Concentrations of dust, allergens and endotoxin in stables, living rooms and mattresses from cattle farmers in southern Bavaria. *Ann Agric Environ Med*, 12, 101–107
- Heutelbeck, A. R.; Janicke, N.; Hilgers, R.; Kutting, B.; Drexler, H.; Hallier, E.; Bickeboller H. (2007): German cattle allergy study (CAS): public health relevance of cattle-allergic farmers. *Int Arch Occup Environ Health*, 81, 201–208
- Heutelbeck, A. R.; Hallier, E. (2009): Aktuelles zur Prävention der Berufsbedingten Rinderallergie in der Landwirtschaft: Erfahrungen mit allergendichter Arbeitskleidung. *Zbl Arbeitsmed*, 59, 98–104
- Hinze, S.; Bergmann, K. C.; Lowenstein, H.; Hansen, G. N. (1997): Cow hair allergen (Bos d 2) content in house dust: correlation with sensitization in farmers with cow hair asthma. *Int Arch Allergy Immunol*, 112, 231–237
- Noss, I.; Wouters, I. M.; Visser, M.; Heederik, D. J.; Thorne, P. S.; Brunekreef, B.; Doekes, G. (2008): Evaluation of a low-cost electrostatic dust fall collector for indoor air endotoxin exposure assessment. *Appl Environ Microbiol*, 74, 5621–5627
- Pabst, R.; Landmann, D.; Metzner, R.; Hallier, E.; Heutelbeck, A. R. (2007): Sensibilisierungsstatus gegen Umwelt- und Berufsallergene bei landwirtschaftlichen Berufsanfängern. *Verh Dt Ges Arbeitsmed Umweltmed*, 47, 94–98
- Prahl, P. (1981): Allergens in cow hair and dander. Origin of cow allergens in the environment. *Allergy*, 36, 561–571
- Rautiainen, J.; Rytkonen, M.; Virtanen, T.; Pentikainen, J.; Zeiler, T.; Mantyjarvi, R. (1997): BDA20, a major bovine dander allergen characterized at the sequence level, is Bos d 2. *J Allergy Clin Immunol*, 100, 251–252
- Rautiainen, J.; Rytkonen, M.; Syrjanen, K.; Pentikainen, J.; Zeiler, T.; Virtanen, T.; Mantyjarvi, R. (1998): Tissue localization of bovine dander allergen Bos d 2. *J Allergy Clin Immunol*, 101, 349–353
- Spitzauer, S. (1999): Allergy to mammalian proteins: at the borderline between foreign and self?, *Int Arch Allergy Immunol*, 120, 259–269
- Turowski, S.; Baur, J.; Seeckts, A.; Lange, M.; Metzner, R.; Scheuermann, H.; Hallier, E.; Heutelbeck, A. R. (2007): Charakterisierung der Rinderallergenexposition in Niedersächsischen und baden-Württembergischen Rinderstallungen. *Verh Dt Ges Arbeitsmed Umweltmed*, 47, 500–502
- Ylonen, J.; Nuutinen, J.; Rautiainen, M.; Ruoppi, P.; Mantyjarvi, R.; Virtanen, T. (1990): Comparative analysis of bovine extracts by immunoblotting and ELISA inhibition. Rabbit and human responses against cow epithelial and urine antigens. *Allergy*, 45, 30–39
- Zahradnik, E.; Sander, I.; Bruckmaier, L.; Flagge, A.; Fleischer, C.; Schierl, R.; Nowak, D.; Sultz, J.; Spickenheuer, A.; Noss, I.; Bruning, T.; Raulf-Heimsoth, M. (2011): Development of a Sandwich ELISA to Measure Exposure to Occupational Cow Hair Allergens. *Int Arch Allergy Immunol*, 155, 225–233

Praxistest zum Einsatz eines neuen Testsystems für Rinderhaar-Allergene

Practicability Test of a New Assay for Cow Hair Allergens

RUDOLF SCHIERL¹, JULIANE HEIZINGER¹, ANTJE BÖHLANDT¹, GISELA DIETRICH-GÜMPERLEIN¹, EVA ZAHRADNIK², LYDIA BRUCKMAIER³, JOACHIM SÜLTZ⁴, MONIKA RAULF-HEIMSOTH², DENNIS NOWAK¹

¹ Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München

² Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)

³ Land- und forstwirtschaftliche Berufgenossenschaft Niederbayern/Oberpfalz und Schwaben, Landshut

⁴ Praxis für Arbeitsmedizin, Neusäß

Schlüsselwörter: Rinderhaarallergie, Staub, ELISA

Keywords: cow hair allergy, dust, ELISA

Zusammenfassung

Hohe Konzentrationen von Rinderhaar-Allergenen im Staub tragen zur Sensibilisierung von Landwirten bei. Um die Verschleppung von Allergenen aus dem Stall in den häuslichen Bereich nachzuweisen, wurde ein neu entwickelter ELISA auf seine Praxistauglichkeit getestet. Dazu wurden Staubproben aus dem Stall- und dem Wohnbereich von 12 Betrieben mit Melkrobotern analysiert.

Die Allergenmengen nehmen vom Melkraum ($7120 \pm 3340 \mu\text{g/g}$) über den Computerraum ($1986 \pm 1087 \mu\text{g/g}$), die Schmutzschleuse ($403 \pm 267 \mu\text{g/g}$), den Wohnbereich ($185 \pm 216 \mu\text{g/g}$) bis zu den Matratzen ($98 \pm 120 \mu\text{g/g}$) deutlich ab.

Der neue ELISA erwies sich als zuverlässig und robust und kann nun effektiv in der Prävention zur Vermeidung von Rinderhaar-Allergien eingesetzt werden.

Summary

High concentrations of cow hair allergens in dust contribute to sensitization of - farmers. A newly developed ELISA for detection of cow hair allergens in dust samples has been tested for practicability. Allergen concentrations from 12 cow stables and adjacent farmers' dwellings ranged considerably from milking parlour ($7120 \pm 3340 \mu\text{g/g}$), changing rooms ($403 \pm 267 \mu\text{g/g}$), and living rooms ($185 \pm 216 \mu\text{g/g}$) to farmers' mattresses ($98 \pm 120 \mu\text{g/g}$).

The new ELISA has been found to be reliable and robust and may now be used for preventative measures.

1 Einleitung

Allergische Erkrankungen der Atemwege spielen in der Landwirtschaft nach wie vor eine große Rolle. Der Anteil der betroffenen Landwirte mit respiratorischen Symptomen aufgrund von Rinderhaar-Exposition ist hierbei besonders hoch (RADON et al., 2002; HEUTELBECK et al., 2007). Auslöser der Symptome sind Proteine, die vor allem in den Haaren und Hautschuppen der Tiere enthalten sind. Um bei Landwirten eine Entstehung oder Verschlimmerung der Erkrankung zu vermeiden, ist eine Kontrolle bzw. Minimierung der Allergen-Exposition dringend erforderlich. Durch den Transport der Rinderhaar-Allergene vom Stall in den Wohn- und Schlafbereich kann es auch hier zu hohen allergenen Belastungen kommen. Bereits in einer früheren Studie (BERGER et al., 2005) konnten wir zeigen, dass zwischen der Konzentration von Rinderhaar-Allergenen im Hausstaub und der Sensibilisierung der Landwirte eine starke Beziehung besteht. Dabei stellte sich heraus, dass der quantitative Nachweis der Rinderhaar-Allergene den Landwirten eine gezielte Verringerung der Allergen-Konzentrationen ermöglichen kann. Allerdings ist der damals eingesetzte Test (HINZE et al., 1997) seit Jahren nicht mehr verfügbar.

Für den Nachweis von Rinderhaar-Proteinen in Staubproben wurde daher von einer Arbeitsgruppe des Instituts für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung der Ruhr-Universität Bochum (IPA) eine neue sensitive Messmethode in Form eines ELISA (enzyme linked immunosorbent assay) entwickelt und validiert (ZAHRADNIK et al., 2011).

Ziel unserer Arbeit war es, diese neue Messmethode auf Praxistauglichkeit zu testen. Dazu wurde in 12 Betrieben mit Melkrobotern die Konzentration von Rinderhaar-Allergenen gemessen und die Verschleppung der Allergene vom Stall bis in den Wohnbereich untersucht.

2 Material und Methoden

2.1 Teilnehmende Betriebe

Die Auswahl der landwirtschaftlichen Betriebe mit Rinderhaltung erfolgte in Kooperation mit der Land- und forstwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft Niederbayern/Oberpfalz und Schwaben (LBG). In diese Studie wurden nur Betriebe eingeschlossen, die mit Melkroboter arbeiteten. Insgesamt wurden Staubproben in 12 Betrieben in Niederbayern gesammelt.

2.2 Staubproben

Von November 2009 bis März 2010 wurden in den landwirtschaftlichen Betrieben mit Melkrobotern mittels Staubsauger 59 Staubproben aus dem Stallbereich (Melkraum), dem Computerraum (Steuerung des Melkroboters), den Schmutzschleusen zum Wechseln der Kleidung, den Fußböden im Wohnbereich und von Matratzen gesammelt. Zusätzlich wurden im Computerraum sowie im Wohnbereich aller Betriebe mit einem Luftfiltergerät (Ionic Breeze Quadra) einatembare Stäube über 24 Stunden gesammelt. Dieses Luftfiltergerät wird seit einigen Jahren zur Bestimmung der Konzentration von einatembaren

Allergenen erfolgreich eingesetzt (CUSTIS et al., 2005). Alle Proben wurden im Labor des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der LMU München mit dem in Bochum (Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der DGUV (IPA)) neu entwickelten und validierten Rinderhaar-ELISA-Verfahren (ZAHRADNIK et al. 2011) analysiert und die Konzentration von Rinderhaar-Allergenen im Staub bestimmt. Die Nachweisgrenze dieser sensitiven Analyseverfahren liegt bei 0,1 ng/ml, wobei alle Proben weit darüber lagen.

2.3 Statistische Analysen

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Computerprogramm SPSS für Windows (V 19).

3 Ergebnisse

3.1 Staubproben mittels Staubsauger

Die gemessenen Konzentrationen von Rinderhaar-Allergenen in den 59 Staubproben der 12 Betriebe reichten von 0,8 µg/g bis 12 500 µg/g. Es zeigte sich ein eindeutiger Gradient der Allergenmengen vom Stall über Computerraum, Schmutzschleuse bis hin zum Wohn- und Schlafbereich mit erwartungsgemäß höchsten Konzentrationen im Stallbereich (Abb. 1). Der Median des Melkraums lag dabei 65- bzw. 114-fach höher als der Median der Allergenkonzentrationen der Wohnzimmer bzw. der Matratzen.

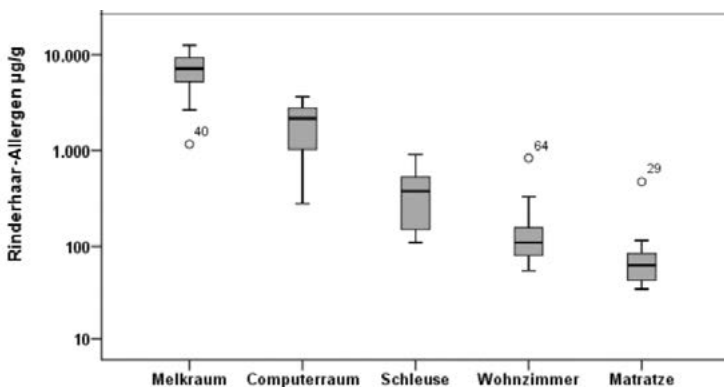


Abb. 1: Boxplot (log) der Rinderhaar-Allergenkonzentrationen in Staubproben (µg/g)
 Fig. 1: Boxplot (log) of cow hair allergen concentrations in dust samples (µg/g)

Im Melkraum lag die Konzentration der Rinderhaar-Allergene in den Staubproben im Mittel bei $7\,120 \pm 3\,340$ µg/g, im Computerraum bei $1\,986 \pm 1\,087$ µg/g, in der Schmutzschleuse bei 403 ± 267 µg/g, im Wohnbereich bei 185 ± 216 µg/g und in den Matratzen bei 98 ± 120 µg/g. Bemerkenswert waren hierbei die relativ hohen Konzentrationen im Computerraum, obwohl es sich hierbei um einen vom Stall abgetrennten Raum zur Steuerung des Melkroboters handelt. Somit ist dieser Arbeitsplatz nicht wesentlich geringer

mit Rinderhaar-Allergenen belastet als der Stall. Ein Vergleich von Wohnzimmer und Matratzen zeigte bei allen 12 „häuslichen“ Staubproben die gleiche Tendenz (Abb. 2). Nur die Allergen-Konzentrationen von Wohnzimmer und Matratzen korrelieren hierbei signifikant ($r_{\text{spear}} = 0,89$), was eine Verschleppung vom Wohn- in den Schlafbereich nahelegt.

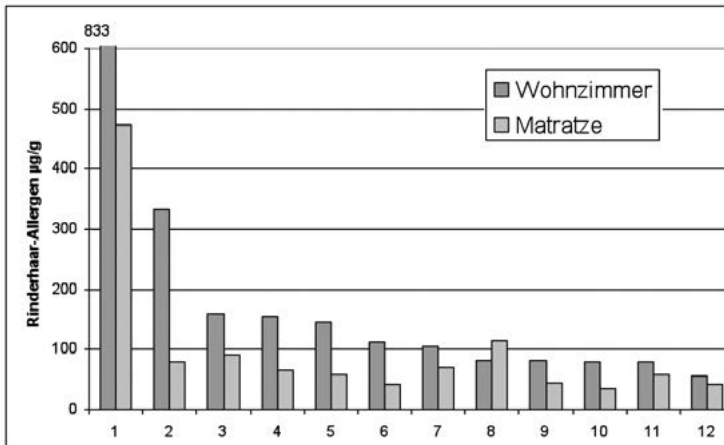


Abb. 2: Rinderhaar-Allergenkonzentration in Staubproben aus Wohnzimmern und von Matratzen ($\mu\text{g/g}$) in 12 Betrieben

Fig. 2: Concentration of cow hair allergen in dust samples from living rooms and mattresses ($\mu\text{g/g}$) collected on 12 different farms

Obwohl eine Abnahme der Rinderhaar-Allergenmengen von der „Quelle“ bis ins Bett offensichtlich ist, liegen die Werte für den Wohn- und Schlafbereich in einigen Betrieben noch so hoch, dass ein potenzielles Sensibilisierungsrisiko besteht.

Im Vergleich mit anderen Studien zeigt der hier angewandte neue Rinderhaar-ELISA eine etwa 10-fach höhere Sensitivität als frühere, nicht mehr verfügbare ELISA-Tests (ZHRADNIK et al. 2011). Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten auch für kurzzeitige Messungen von Rinderhaar-Allergenkonzentrationen in der einatembaren Staubfraktion.

3.2 Staubproben mittels Luftfiltergerät

Auch die Messwerte der einatembaren Staubfraktion aus Computerraum und Wohnzimmer folgen dem oben beschriebenen Gradienten. Im Computerraum lag die Belastung mit Rinderhaar-Allergenen zwischen 6,7 $\mu\text{g/g}$ und 2 140 $\mu\text{g/g}$ (Mittelwert: 318 $\mu\text{g/g}$) bzw. zwischen 0,8 $\mu\text{g/g}$ und 264 $\mu\text{g/g}$ im Wohnbereich (Mittelwert: 28 $\mu\text{g/g}$). Eine Korrelation zeigte sich nicht, was aber vermutlich daran lag, dass die Nutzungszeiten – und damit die zufälligen Aufwirbelungen von sedimentiertem Staub – von Computerraum und Wohnzimmer sehr unterschiedlich waren.

4 Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse zeigen, dass der neu entwickelte, sensitive Rinderhaar-ELISA hervorragend geeignet ist, die Allergengehalte in den unterschiedlichsten Staubproben rasch und zuverlässig zu bestimmen. Vom Stall bis hin zum häuslichen Bereich ließ sich ein deutlicher Gradient der Allergenkonzentration darstellen. Dieses Testverfahren ermöglicht zudem, den Erfolg konkreter Maßnahmen zur Reduzierung der Allergengehalte bei Rinderhaltern durch Messungen zu dokumentieren und leistet daher einen wichtigen Beitrag zur Prävention.

Literatur

- Berger, I.; Schierl, R.; Ochmann, U.; Egger, U.; Scharrer, E.; Nowak, D. (2005): Concentrations of dust, allergens and endotoxin in stables, living rooms and mattresses from cattle farmers in southern Bavaria. *Ann Agric Environ Med*, 12, 101–107
- Custis, N. J.; Woodfolk, J. A.; Vaughan, J. W.; Platts-Mills; T.A.E. (2003): Quantitative measurement of airborne allergens from dust mites, dogs, and cats using an ion-charging device. *Clin Exp Allergy*, 33, 986–991
- Heutelbeck, A. R.; Janicke, N.; Hilgers, R.; Kutting, B.; Drexler, H.; Hallier, E.; Bickeboller, H. (2007): German cattle allergy study (CAS): public health relevance of cattle-allergic farmers. *Int Arch Occup Environ Health*, 81, 201–208
- Hinze, S.; Bergmann, K. C.; Lowenstein, H.; Hansen, G. N. (1997): Cow hair allergen (Bos d 2) content in house dust: correlation with sensitization in farmers with cow hair asthma. *Int Arch Allergy Immunol*, 112, 231–237
- Radon, K.; Monso, E.; Weber, C.; Danuser, B.; Iversen, M.; Opravil, U.; Donham, K.; Hartung, J.; Pedersen, S.; Garz, S.; Blainey, D.; Rabe, U.; Nowak, D. (2002): Prevalence and risk factors for airway diseases in farmers – summary of results of the European Farmers' Project. *Ann Agric Environ Med*, 9, 207–213
- Zahradnik, E.; Sander, I.; Bruckmaier, L.; Flagge, A.; Fleischer, C.; Schierl, R.; Nowak, D.; Sultz, J.; Spickenheuer, A.; Noss, I.; Brüning, T.; Raulf-Heimsoth, M. (2011): Development of a Sandwich ELISA to measure exposure to occupational cow hair allergens. *Int Arch Allergy Immunol*, 155, 225–233

Dank

Wir danken den Herren Konrad Fischer, Max Häckl, Johannes Holzer, Günter Stemplinger und Franz Ziegler von der Land- und forstwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft Niederbayern/Oberpfalz und Schwaben (LBG) für die Auswahl der Betriebe und die Mitwirkung bei der Probensammlung. Des Weiteren gilt unser Dank den landwirtschaftlichen Betrieben für die gute Kooperation.

Die hier vorgestellten Daten sind Teil der Dissertation von Juliane Heizinger an der medizinischen Fakultät der LMU München.

Investitionsbedarf für Stallanlagen für die Bullenmast- und Mutterkuhhaltung

Investment requirements for bull fattening and mother cow housing facilities

JOCHEN SIMON, JOHANNES ZAHNER

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Prof.-Dürrwaechter- Platz 2, 85586 Poing-Grub

Schlüsselwörter: Bullenmast, Mutterkuhhaltung, Stallanlagen
Keywords: bull fattening, mother cow housing, animal housing facilities

Zusammenfassung

Der hohe Kostendruck in der Rindfleischerzeugung erfordert die Umsetzung kostengünstiger Baulösungen und Verfahren. Ziel dieser Arbeit war der Vergleich des Investitionsbedarfs für unterschiedliche Haltungsverfahren in der Bullenmast und Mutterkuhhaltung. Dafür wurden für die Bullenmast Stallmodelle mit Vollspaltenbuchten sowie Anlagen mit eingestreuten Liegeflächen erarbeitet. Für die Mutterhaltung wurden eingestreute Systeme mit einer Liegeboxenvariante verglichen. Beim Investitionsbedarf schneiden die eingestreuten Systeme günstiger ab. Die Unterschiede liegen in der Bullenmast zwischen 12 und 25 %, in der Mutterkuhhaltung zwischen 8 und 13 %, je nachdem, ob für die Strohbergung ein Bestandsgebäude genutzt werden kann. Darüber hinaus wurde im Rahmen einer Jahreskostenanalyse mit einem variablen Strohpreis das günstigste Verfahren ermittelt. Auch hier schneiden die eingestreuten Verfahren bei Strohkosten zwischen 1,88 €/dt und 13,71 €/dt günstiger ab.

Summary

The high cost pressure in beef production requires the realization of cost-effective construction solutions and techniques. The objective of this study was a comparison of the investments needed for different animal house designs and housing techniques in bull fattening and mother cow housing. For this purpose, animal house models with fully slatted floors as well facilities with littered lying areas were developed. For mother cow housing, littered systems were compared with a lying box layout. With regard to the investment requirements, the littered systems are more favourable. The differences range between 12 and 25 % in bull fattening and between 8 and 13 % in mother cow housing depending on whether an existing building can be used for straw storage. Beyond this the most cost-effective technique was determined based on an annual cost analysis with a variable straw price. Once again, the littered techniques prove to be more cost-effective given straw expenses of € 1.88 to € 13.71 per decitonne.

1 Einleitung und Zielstellung

Durch den hohen Kostendruck in der Rindfleischerzeugung ist es notwendig, kostengünstige Baulösungen und Verfahren auf den Betrieben umzusetzen. Ziel dieser Arbeit war die Ermittlung des Investitionsbedarfs für Bullenmast- und Mutterkuhställe als Entscheidungshilfe für die Landwirte als Bauherren, Berater und Planer. Über die Auswertung des Investitionsbedarfs bei realisierten Projekten können aufgrund unterschiedlicher baulicher Ausführung (Konstruktion, Material, Qualität) sowie des unterschiedlichen Anteils an Eigenleistungen, vergleichbare Kosten nur eingeschränkt ermittelt werden. Deshalb wurden standardisierte Modellplanungen (in Erweiterung von Modellen, die im Rahmen des KTBL-Arbeitsprogramms „Kalkulationsunterlagen“ bearbeitet wurden) entwickelt, die einen objektiven Vergleich ermöglichen. Diese Grundlagen dienen auch der Ermittlung der Jahreskosten hinsichtlich eines variablen Strohpreises.

2 Beschreibung der Modellvarianten

Für die Bullenmast wurden Stallanlagen mit Vollspaltenböden und mit einem praxisüblichen Fressplatz-Tierverhältnis von 1 : 1 für 140 Tierplätze (Modell BM 1) sowie 1 : 2 für 160 Tierplätze (Modell BM 2) erarbeitet. Zum Vergleich wurden zwei eingestreute Stallsysteme mit Tretmist und einem Fressplatz-Tierverhältnis von 1 : 1,4 für 120 Tierplätze (Modelle BM 3 und BM 4a) geplant. Diese Tierzahlen ergaben sich im Wesentlichen aus einer Vereinheitlichung der Gebäudeabmessungen bei gleichzeitig unterschiedlichem Flächenbedarf pro Tierplatz, Gruppengrößen und Mastabschnitten. Die beiden Varianten mit Tretmistaufstallung unterscheiden sich durch eine beidseitige (BM 3) bzw. einseitige (BM 4a) Anordnung des Liegebereichs am Futtertisch. Letzteres entspricht einem Offenfrontstall mit geschlossenen Rück- und Seitenwänden und einer offenen Firstseite.

Für die Mutterkuhhaltung wurden unterschiedliche Stallmodelle für ca. 34 Tierplätze in drei verschiedenen Aufstallungsformen mit einseitiger Anordnung der Liegeflächen am Futtertisch entwickelt. Diese Bestandsgrößen sind auf typische Ökobetriebe in Süddeutschland angepasst. Im Einzelnen sind dies zwei Varianten mit Tretmist (Modelle MK 1 und MK 2a), wobei Modell MK 1 als Einflächenbucht, Modell MK 2a als Zweiflächenbucht geplant ist. Darüber hinaus jeweils ein Modell für Tiefstreu (Modell MK 2b) und eines mit einer Liegeboxenaufstallung (Modell MK 3b). Vom Typ her handelt es sich hier bei allen Varianten um Offenfrontställe.

Der errechnete Investitionsbedarf setzt sich aus den Kostenblöcken für Bau und Technik (Stalleinrichtung, Entmistungstechnik), für den Bergeraum (Futtermittel und ggf. Einstreumaterial) und für die Fahrloanlage zusammen. Der Bergeraum ist planerisch nicht weiter dargestellt, wird aber kostenseitig berücksichtigt. Die Kosten wurden über Firmenangebote und eine eigene Berechnung (gem. DIN 276) ermittelt. Alle Preise sind als reine Fremdleistung ohne Mehrwertsteuer gerechnet.

3 Ausführung der Stallmodelle

Für die Bullenmastställe wurden bei den Vollspaltenvarianten zwei bzw. drei Mastabschnitte mit einem Flächenbedarf von $2,1 \text{ m}^2$ bis $3,0 \text{ m}^2$ je Altersgruppe zu Grunde gelegt. Bei den eingestreuten Verfahren wurden ausschließlich drei Mastabschnitte mit einem Flächenbedarf von $2,7 \text{ m}^2$ bis $4,0 \text{ m}^2$ je Altersgruppe angenommen. Für die Tretmistställe wurde für beide Anordnungen am Futtertisch eine Zweiflächenbucht geplant. Dabei verteilt sich die Fläche pro Tier auf die gesamte verfügbare Buchtenfläche (Liegefläche und Fressgang).

Da ein Großteil der Mutterkühe in Süddeutschland auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben gehalten wird, wurde für den Flächenbedarf pro Tierplatz die Verordnung (EG) Nr. 834/ 2007 (EG-Öko-Verordnung) zu Grunde gelegt. Daraus ergeben sich pro Kuhplatz eine Mindestfläche von $6,0 \text{ m}^2$ zzgl. $1,5 \text{ m}^2$ pro Kalb. Bei den eingestreuten Verfahren wurden die Stallmodelle so konzipiert, dass die $6,0 \text{ m}^2$ im Einstreu- bzw. Liegebereich zur Verfügung stehen. Mit dem Fressgang bzw. mit dem bei Modell MK 1 nicht einberechneten Fressbereich am Trog (Tiefe $2,0 \text{ m}$) ergeben sich damit Gesamtflächen von $8,8 \text{ m}^2/\text{TP}$ (MK 1), $9,1 \text{ m}^2/\text{TP}$ (MK 2b), $10,2 \text{ m}^2/\text{TP}$ (MK3a) und $10,3 \text{ m}^2/\text{TP}$ (MK 2a). Die Unterscheidung hinsichtlich der Flächenannahmen bei den Bullenmast- bzw. Mutterkuhställen entspricht der Praxis. Bullenmist ist wegen der Futtergrundlage (Maissilage, Getreide) von fester bzw. zäher Konsistenz. Im Hinblick auf den Mistfluss im Tretmiststall werden daher die Buchten eher höher belegt.

Dagegen tendieren die Landwirte in der Mutterkuhhaltung, in Abhängigkeit zum regionalen Strohangebot, mit Blick auf die Sauberkeit der Tiere eher zu einer Erhöhung der Fläche pro Kuhplatz. Neben der Fläche im Liege- bzw. Fressbereich steht bei allen Modellen ein separater Abkalbbereich für ca. vier Kühe zur Verfügung. Auslaufflächen gem. EG-Öko-VO sind wegen der angenommenen sommerlichen Weidehaltung nicht erforderlichen.

Bei allen Modellen wurde von einer Flächengründung auf Frostschutzkies gem. DIN EN 13285 (2003) auf normal gründungsfähigem, nicht bindigen Boden gem. DIN 1054 (2005) ausgegangen. Als Tragwerksvarianten (Schneelast: $1,30 \text{ kN/m}^2$) wurden für die Bullenmastställe mit Vollspalten Satteldachbinderkonstruktionen mit Stützen auf massiven Stahlbetonwänden (Höhe ca. $2,0 \text{ m}$) geplant. Im Stützenbereich sind zur Wärmehaltung Stegplatten als Wandverschluss vorgesehen, die für die notwendige Querlüftung geöffnet werden können. Ein Lichtfirst ist nicht vorgesehen. Bei den eingestreuten Varianten mit beiderseitiger Anordnung der Liegebuchten wurde der Wandaufbau beibehalten, wobei dieser wg. der Dämmwirkung des eingestreuten Stroh auch einfacher, z.B. mit Curtains oder Spaceboard ausgeführt werden könnte. Im Gegensatz zu BM 3 ist BM 4a mit einer Pultdachkonstruktion ausgeführt. Firstseitig ist bei diesem Offenfrontstall keine Wand vorgesehen. Im Gegensatz zu den quer gelüfteten Vollspaltenställen mit First in Nord-Südausrichtung werden diese Gebäude, u. a. zur Ausnutzung der frühen Morgensonne, mit der offenen Firstseite nach Süd-Ost orientiert (Abb. 1).

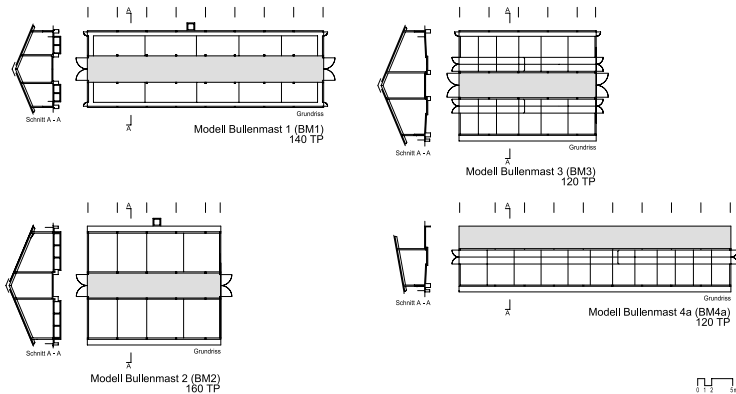


Abb. 1: Modellvarianten für Bullenmast-Ställe
 Fig. 1: Model layouts for bull fattening houses

Die Mutterkuhställe sind von vorneherein aus Kostengründen als Offenfrontställe mit einseitiger Anordnung des Liegebereichs am Futtertisch und einer Dachkonstruktion mit Pultdachbindern geplant. Die Trauf- und Giebelwände sind bei den eingestreuten Verfahren bis auf 1,20 m Höhe massiv in Beton, bei der Liegeboxenvariante mit einer Holzverschalung ausgeführt. Darüber sind als Wandverschluss Curtains bzw. giebelseitig eine Holzverschalung vorgesehen. Am Futtertisch entsteht durch Auskrägung des Binders ein Vordach (Abb. 2).

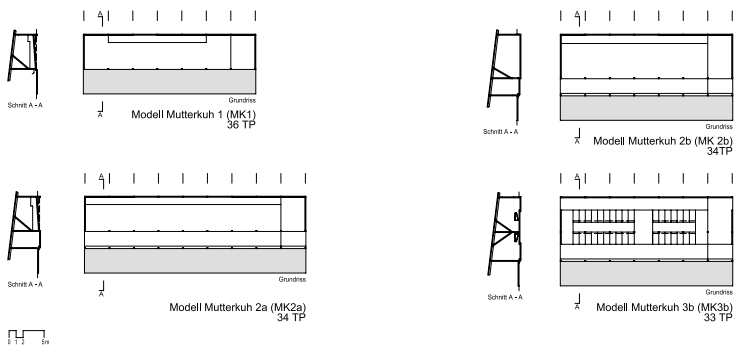


Abb. 2: Modellvarianten für Mutterkuh-Ställe
 Fig. 2: Model layouts for mother cow housing

Als Dacheindeckung wurde für alle Stallmodelle eine Blecheindeckung auf Kopelpfetten ohne Unterdach angenommen. Hierbei muss für die ganzjährig genutzten Bullenmastställe mit Spaltenboden beachtet werden, dass die Stallinnentemperaturen im Winter u.U. durch die fehlende Dämmwirkung im Dach zu niedrig sein können. Das spielt keine Rolle bei den eingestreuten Varianten. Darüber hinaus bietet eine reine

Blecheindeckung bzgl. des sommerlichen Wärmeschutzes keinen Schutz vor starker Aufheizung der Gebäude. Aus diesem Grund sind bei den Gesamtkosten für die Bullenmastställe ggf. noch Mehrkosten für ein Unterdach in Holz, eine Eindeckung mit Sandwichelementen o.ä. einzurechnen. Dieser Aspekt kann bei den saisonal im Winter genutzten Mutterkuhställen außer Acht gelassen werden. Die Dachneigung beträgt bei den Satteldachhallen 23° und bei den Pultdachvarianten 7°.

4 Investitionskosten

Bei den Kosten wurde für alle Verfahren der Investitionsbedarf für den schlüsselfertigen Stall inkl. Stalleinrichtung sowie Futter-, Dung- und ggf. Strohlager ermittelt. Der Aspekt des Investitionsbedarfs reicht jedoch allein nicht als Kriterium für die Wahl des jeweiligen Verfahrens oder der Aufstallungsvariante. Vielmehr müssen die Jahreskosten für die jeweiligen Verfahren ermittelt und gegenübergestellt werden. Bei den eingestreuerten Varianten sind darüber hinaus regionale Preisunterschiede und eine mögliche Preissteigerung beim Stroh zu berücksichtigen.

In der Bullenmast beträgt der Investitionsbedarf pro Tierplatz bei den Vollspaltenvarianten für Modell BM 1 ca. 3.291 €/TP und für Modell BM 2 ca. 2.910 €/TP. Dieser Kostenunterschied ergibt sich bei BM 1 aus dem höheren Fressplatz-Tierverhältnis und damit einem größeren Futtertischanteil pro Tierplatz, der wiederum ein langgestrecktes Gebäude mit größerer Dach- und Außenwandfläche sowie Kanallänge zur Folge hat. Bezogen auf die Einstreuvarianten mit einem Fressplatz-Tierverhältnis von 1:1,4 ergibt sich aus diesen beiden Werten rechnerisch ein Investitionsbedarf von ca. 3.139 €/TP. Diesem Betrag steht die günstigste Variante der untersuchten Tretmistställe mit einem Investitionsbedarf von ca. 2.792 €/TP für Modell BM 4a gegenüber. Das bedeutet eine Kostendifferenz von ca. 347 €/TP bzw. ca. 12 % zu Gunsten der Einstreuvariante. In den Gesamtkosten für Modell 4a sind ca. 357 €/TP für die Strohlagerung enthalten. Für den Fall, dass auf dem Betrieb eine Lagerhalle zur Verfügung steht, würde dies den Kostenunterschied auf ca. 704 €/TP bzw. ca. 23 % erhöhen. Hauptursache für den günstigeren Investitionsbedarf der Tretmistvariante sind Einsparmöglichkeiten beim Unterbau wg. der fehlenden Güllekanäle sowie die günstigeren Gestehungskosten beim Tragwerk. Der Vergleich zu BM 3 mit einem Investitionsbedarf von ca. 2.961 €/TP zeigt, dass die vermeintlich wirtschaftlichere Anordnung der Liegeflächen beiderseits des Futtertisches allein nicht zu günstigeren Gesamtkosten führen muss.

Für eine Jahreskostenermittlung hinsichtlich eines variablen Strohpreises wurde eine Nutzungsdauer von 20 Jahren, ein Zinsansatz von 4 % sowie Versicherung und Reparatur mit 1 % veranschlagt. Neben den Kosten für das Gebäude, die Gülle- und Festmistlagerung (inkl. Gülletechnik) sowie die Futter- und Strohlagerung wurden die unterschiedlichen Ausbringkosten für Gülle und Mist (KTBL 2008) zusammen mit den Kosten für die Strohbergung und das Einstreuen berücksichtigt. Dabei würden die Jahreskosten für den Offenfrontstall BM 4a beim Neubau einer Strohbergehalle ab einem Strohpreis von ca. 1,88 €/dt und ohne Neubau ab einem Strohpreis von ca. 4,78 €/dt Stroh die gleichen Jahreskosten verursachen, wie ein Vollspaltenbodenstall mit einem Fressplatz-Tierverhältnis von 1:1,4 (Abb. 3).

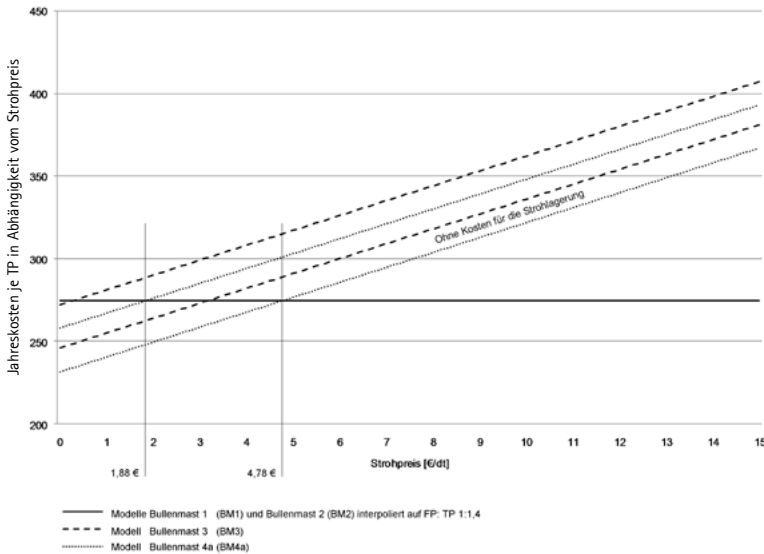


Abb. 3: Jahreskostenermittlung für Bullenmastställe mit variablen Strohkosten
 Fig. 3: Annual cost determination for bull fattening houses with variable straw prices

Noch nicht berücksichtigt in dieser Kostenbetrachtung ist die Frage der zusätzlichen Ausstattung der Spaltenboden mit einer Gummiauflage zur Verbesserung des Liegekomforts für die Tiere. Dabei muss mit zusätzlichen Mehrkosten gerechnet werden, die beim ca. 1,3-fachen der Spaltenbodenelemente liegen.

Bei den Kosten für die Mutterkuhställe zeigt sich im Vergleich der Einstreuvarianten mit Zweiflächenbucht (Modelle MK 2a und 2b) und der Liegeboxenaufstallung (Modell MK 3b), dass beim reinen Investitionsbedarf der Tiefstreuastall (MK 2b) mit ca. 4.432 €/TP am günstigsten liegt, gefolgt von MK 2a mit 4.479 €/TP. Die teuerste Variante ist mit 4.803 €/TP die Liegeboxenaufstallung (MK 3b). Das entspricht gegenüber MK 2b einer Differenz von ca. 371 €/TP bzw. ca. 8 %. Hauptursachen für die höheren Kosten gegenüber MK 2a und MK 2b sind die teurere Liegeboxenaufstallung sowie die zweite Entmischungsschnecke mit Schieber. Die Kosten für die Festmistlagerung sind zwar günstiger als die der Güllelagerung. Dieser Vorteil wird aber beim Neubau einer Strohberrgehalle zum Vorteil des Gülleverfahrens wieder ausgeglichen. Geht man von einer vorhandenen Strohberrgehalle aus, erhöht sich der Kostenvorteil für die Tiefstreuvariante um ca. 238 €/TP auf ca. 610 €/TP bzw. ca. 13 %.

Innerhalb der eingestreuten Systeme ist der Investitionsbedarf für den Tretmiststall mit Einflächennbucht (Modell MK 1) mit 4.661 €/TP am höchsten. Das hängt mit der maximal möglichen Buchtentiefe von 7,0 m bei diesem Verfahren zusammen. Von dieser gehen zunächst 2,0 m Fressplatz und dann noch einmal 1,70 m für den Kälberschlupf ab. Aus dem Verhältnis der verbleibenden Buchtentiefe zu den 6,0 m²/TP Liegefläche ergibt sich ein sehr langgestrecktes Gebäude mit einer unwirtschaftlichen Futtertischlänge (Fressplatz-Tierverhältnis von 1,8:1), aus der wiederum ein erheblich höherer Investitionsbedarf resultiert.

Bei der Jahreskostenbetrachtung mit variablem Strohpreis zeigt sich, dass MK 2b trotz der günstigeren Stallbaukosten durch den höheren Strohverbrauch nur bis zu einem Strohpreis von 0,29 €/dt gegenüber MK 2a günstiger ist. Kostengleichheit besteht zwischen MK 2a und MK 3b erst ab einem Strohpreis von ca. 11,89 €/dt bzw. 13,71 €/dt, je nach Verfügbarkeit einer Strohbergehalde (Abb. 4).

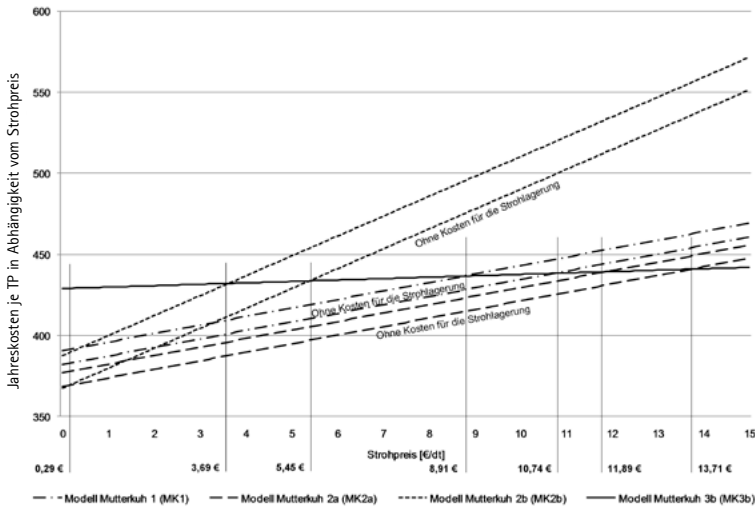


Abb. 4: Jahreskostenermittlung für Mutterkuhställe mit variablen Strohkosten
 Fig. 4: Annual cost determination for mother cow housing with variable straw prices

5 Schlussfolgerungen

Bei der Entscheidung für eine bestimmte Bauweise sind durch den Bauherren neben den reinen Baukosten noch weitere Vor- und Nachteile bei den einzelnen Verfahren und Bauweisen der Stallanlagen zu berücksichtigen. Hierzu gehören die mögliche Einbringung von Eigenleistung, der Bauunterhalt sowie das Stallklima. Im Hinblick auf eine zukunftsfähige Baulösung ist die Erweiterbarkeit und Umnutzung wichtig. Gestalterische Aspekte, wie die Anpassung an das vorhandene Gelände bzw. die Größe und damit das Erscheinungsbild des entstehenden Gebäudevolumens sind mit den anderen Kriterien abzuwägen. Bei den Stallanlagen zeigt sich bzgl. der Rentabilität der einzelnen Verfahren eine hohe Abhängigkeit zwischen dem Investitionsbedarf für Gebäude und Technik aber auch eine hohe Abhängigkeit bzgl. der Verfügbarkeit von Stroh. Dieser Faktor bestimmt den Strohpreis, der vor dem Hintergrund der Diskussion um nachwachsende Rohstoffe zur Energieerzeugung künftig verstärkt unter Druck geraten wird.

Dennoch zeigt sich beim Vergleich der Haltungsverfahren speziell in der Bullenmast, dass über die baulich einfacher auszuführenden Offenfrontställe in Verbindung mit Stroh als Einstreumaterial zunächst erhebliche Kosten eingespart werden können. In der

Mutterkuhhaltung wird vor allem für die Betriebe im Grünlandgebiet die Verfügbarkeit von Stroh ausschlaggebend sein für die Entscheidung zwischen eingestreuten Verfahren und einer zunächst teureren Liegeboxenaufstallung.

Literatur

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (2007):
Arbeitsblatt 02.04.11 Haltungsformen für Mastrinder I, Freising

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (2007):
Arbeitsblatt 02.14.12 Haltungsformen für Mastrinder II, Freising

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2003): DIN EN 13285 Ungebundene Gemische,
Berlin

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2005): DIN 1054 Baugrund – Sicherheitsnach-
weise im Erd- und Grundbau, Berlin

KTBL (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09, Darmstadt

Bewertung des Abflussverhaltens auf planbefestigten Laufflächenbelägen in Rinderställen

Evaluation of drainage characteristics of solid floor surfaces in cowshed traffic areas

BEAT STEINER¹, MARGRET KECK¹, MARKUS KELLER¹, KATHARINA WEBER²

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, 8356 Ettenhausen, Schweiz

² Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Garbenstraße 9, 70593 Stuttgart

Schlüsselwörter: Lauffläche, Rindviehstall, Abfluss, Ammoniakemission, Gefälle, Oberflächenstruktur

Keywords: traffic area, cattle housing, drainage, ammonia emission, gradient, surface texture

Zusammenfassung

Verschmutzte Laufflächen stellen Flächenquellen für NH₃-Emissionen dar. Zur Emissionsminderung wurde in der vorliegenden Untersuchung der Einfluss des Gefälles auf das Abflussverhalten von Wasser im halbtechnischen Maßstab bei sieben unterschiedlichen Laufflächenbelägen quantifiziert. Die Beläge wurden mit einem Kot-Harn-Gemisch standardisiert verschmutzt. Als Messparameter dienten die Zeitdauer des Abflusses, die Masse sowie die Ausbreitungsfläche der zurückbleibenden Flüssigkeit. Bei allen Parametern ergaben sich zwischen den Gefällestufen bis zu 4 % signifikante Unterschiede. Der Rückgang von Abflusszeit und zurückbleibender Masse war vor allem bis zu einem Gefälle von 3 % erheblich. Eine weitere Erhöhung des Gefälles brachte nur noch geringe Veränderungen. Unter Berücksichtigung der baulichen Konsequenzen und allfälliger Auswirkungen auf das Laufverhalten erweist sich ein Gefälle von 3 % für planbefestigte Laufflächen als vorteilhaft.

Summary

Soiled traffic areas are area sources for ammonia emissions. For the purpose of emission reduction the present study quantified the influence of gradient on the drainage behaviour of water in studies on a semi-industrial scale from seven different traffic area floor surfaces. The traffic area floor surfaces were soiled with a standardised faeces-urine mixture. The measurement parameters used were the drainage time, the mass and the spread area of the liquid remaining. In all the parameters significant differences were found between the gradient steps up to 4 %. The reduction in drainage time and mass remaining was substantial, particularly up to a gradient of 3 %. A further increase in gradient produced only slight changes. Bearing in mind the structural consequences and any impact on walking behaviour, a gradient of 3 % appears advantageous for traffic areas with solid floors.

1 Einleitung

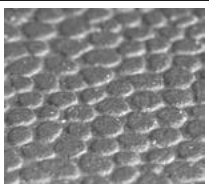
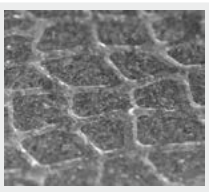

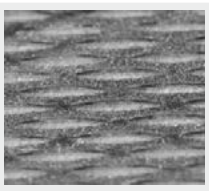
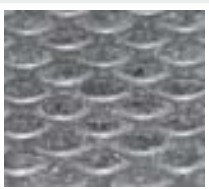
Die Oberflächen von Laufflächenbelägen wurden bisher unterschiedlich strukturiert und meist mit keinem oder nur geringem Gefälle ($\leq 1\%$) eingebaut. Demnach kann Harn von der Oberfläche nicht abfließen (Drainage). Verschmutzte Laufflächen stellen Flächenquellen für Ammoniakemissionen (NH_3) dar. Nach dem Harnvorgang steigt die NH_3 -Freisetzung auf Laufflächen zunächst stark an und flacht wieder ab. Die Harnstoffhydrolyse beginnt etwa 0,5 bis 1 Stunde nach Kontakt des Harns mit den Exkrementen und ist meist nach wenigen Stunden abgeschlossen (MONTENY, 2000; AARNINK et al., 1992). Geschwindigkeit und Vollständigkeit des Harnstoffabbaus werden von der Höhe der Harnstoffkonzentration und der temperaturabhängigen Ureaseaktivität positiv beeinflusst. Neben emissionsoptimierten Oberflächen ermöglichen erst ein Gefälle und Sammelrinnen, dass Harn von der Oberfläche rasch abgeleitet werden kann. Dadurch wird ein Effekt auf die NH_3 -Minderung erwartet. MONTENY (2000) und KECK (1997) konnten in Modellrechnungen beziehungsweise in Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab einen großen Einfluss von Harn auf den Laufflächen auf die NH_3 -Emissionen aufzeigen. Ein schnelles Ableiten von Harn ist demnach wichtig. Ein beidseitiges Quergefälle der Lauffläche von 3 % hatte einen stärkeren Einfluss auf die NH_3 -Emission (20–50 % Minderung) als ein erhöhtes Entmistungsintervall von 12 auf 96 Vorgänge am Tag (5 % Minderung) (BRAAM et al., 1997). Auf Laufflächen ohne Gefälle resultiert bis zum nächsten Entmistungszeitpunkt stehende Nässe. Harn soll deshalb auf dem kürzesten Weg von den Laufflächen mit einem Quergefälle zu einer mittigen Sammelrinne geführt werden. Dazu sind bessere Kenntnisse der Zusammenhänge von Oberflächengestaltung, Abflussverhalten durch Gefälle und Sammelkanäle sowie Verschmutzungsgrad erforderlich. Als baulich-technische Maßnahmen stehen die Art der Oberflächenstruktur, der Einbau von Gefälle und kanalisiertes Ableiten der Flüssigkeiten im Vordergrund.

Ziel der Untersuchung war es, den Einfluss des Gefälles auf das Abflussverhalten von unterschiedlich gestalteten Laufflächen zu evaluieren. Nach der Erarbeitung einer geeigneten Messmethodik waren die Wirkung einzelner Parameter und deren Kombination zu quantifizieren.

2 Material und Methoden

Untersucht wurden sieben Laufflächenbeläge mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen: fünf Gummibeläge (Tab. 1) sowie je ein Belag aus Monobeton und Gussasphalt. Das Betonmuster entsprach der Klasse C 30/37, mit einer Körnung von 0–16 mm; in die Oberfläche waren $1,4 \text{ kg/m}^2$ Quarzsand A der Körnung 0,7–1,2 mm eingearbeitet. Beim Gussasphalt GA 8 SJ erfolgte die Oberflächenbearbeitung im Überschuss mit Mülliger-Rundsand der Körnung 0,8–1,8 mm. Die Gummimatten 1, 2, 4 und 5 hatten auf der Oberseite Grippprofile, mit einer klaren Abgrenzung von erhöhten Bereichen und Zwischenräumen. Gummimatte 3 wies ein Hammerschlagprofil auf.

Tab. 1: Beschreibung der untersuchten Gummi-Laufflächenbeläge
 Tab. 1: Description of the rubber traffic area flooring investigated

Makroaufnahme der Oberfläche	Nummerierung und Beschreibung der Oberflächenstruktur der Laufflächenbeläge
	<p>Gummimatte 1 Erhebungsflächen 6–10 mm Durchmesser, Zwischenräume 1–2 mm breit, ca. 1 mm tief, Gummioberfläche mit glatter Struktur</p>
	<p>Gummimatte 2 Erhebungsflächen 11–16 mm Kantenlänge, Zwischenräume 3 mm breit, ca. 1 mm tief, Gummioberfläche mit feinrauer Struktur</p>
	<p>Gummimatte 3 Hammerschlagprofil, Erhebungen beulenförmig, 12 mm Durchmesser, Übergang zwischen Erhöhungen und Vertiefungen fließend, Gummioberfläche mit glatter Struktur</p>
	<p>Gummimatte 4 Erhebungsflächen „Lines“, symmetrisch angeordnet, 6 mm lang, 1 mm breit, Zwischenräume 3 mm breit, ca. 1 mm tief, Gummioberfläche mit glatter Struktur</p>
	<p>Gummimatte 5 Erhebungsflächen tropfenförmig, symmetrisch angeordnet, 7 mm lang, 5 mm breit, Zwischenräume 2 mm breit, ca. 1 mm tief, Gummioberfläche mit glatter Struktur</p>

Eine spezielle Versuchseinrichtung wurde im halbertechnischen Maßstab aufgebaut (Abb. 1). In Neigungsrichtung hatten die verwendeten Laufflächenbeläge eine Länge von 160 cm, was etwa einer praxisüblichen Laufgangbreite bis zur mittigen Führungsrinne in Milchviehställen entspricht; die Breite betrug 120 cm. Die Neigung der Beläge wurde in sechs Stufen von 0–5 % variiert. Pro Gefällestufe erfolgten je drei Messungen in zwei entgegengesetzten Richtungen, um einen allfälligen Richtungseffekt mit zu erfassen. Damit lagen von jeder Gefällestufe sechs Einzelmessungen und für jedes Material insgesamt 36 Messungen vor. Die Messungen erfolgten auf vorbefeuchteten und mit Kot-Harn-Gemisch standardisiert verschmutzten Flächen. Dabei wurde das Kot-Harn-Gemisch von Milchkühen auf den Laufflächenbelag verteilt und mit einem Mistschieber

abgeschoben. Der TS-Gehalt des Kot-Harn-Gemisches variierte zwischen den Versuchsdurchgängen von 10–12 %. Als Flüssigkeit wurde Wasser eingesetzt. Das applizierte Volumen entsprach mit 2 l dem durchschnittlichen Harnvorgang einer Kuh (RUTZMOSER, 2009). Die abfließende Masse der Flüssigkeit wurde gekoppelt mit der Zeitdauer und ab Beginn des Harnvorgangs gravimetrisch erfasst (Abb. 1). Die Logger-Software (Dasy-Lab) steuerte dabei das Ventil und speicherte die Werte alle 0,5 s in einem ASCII-File ab.

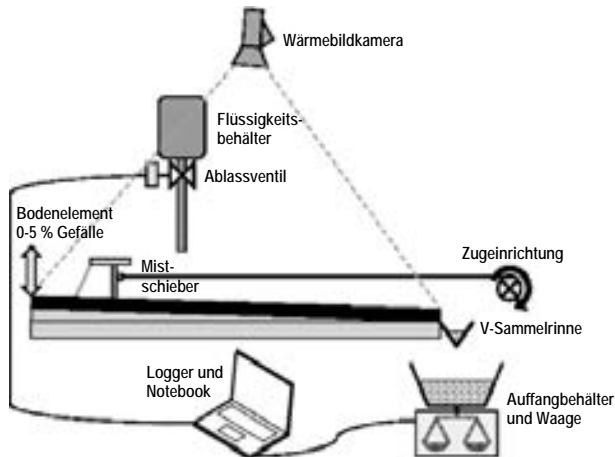


Abb. 1: Schemazeichnung der Versuchseinrichtung
 Fig. 1: Schematic drawing of the experimental set-up

Die Ausbreitungsfläche wurde mit einer Wärmebildkamera „Flir ThermaCam TM E4“ erfasst. Dazu wurde das Wasser jeweils vor Beginn der Messung auf 30 °C erwärmt, um einen genügenden Kontrast zur Laufflächentemperatur von 18 °C zu erhalten. Ein ebenso erwärmter Stab wurde vor der Aufnahme auf die Fläche gelegt und diente als Referenzmass für die Umrechnung der Bildpunkte des Digitalbildes.

3 Datenaufbereitung und Statistik

Die Zeitdauer des gesamten Abflussvorgangs variierte stark, da häufig nach dem eigentlichen Abfluss noch kleinere Mengen nachtropften. Daher wurde der Parameter „Zeitdauer des Abflusses von 75 % der aufgebrauchten Masse (1 500 g)“ eingeführt. Um die potenziell weiter emittierende Harnmenge herzuleiten, wurde die „Masse der verbleibenden Flüssigkeit“ errechnet. Zur Ermittlung der „Ausbreitungsfläche“ diente die Software Adobe Photoshop 7.0. Von den sechs Einzelergebnissen jeden Materials und pro Gefällestufe wurden die Mittelwerte sowie die Standardabweichung ermittelt. Um die Richtungseffekte der einzelnen Laufflächenbeläge aufzuzeigen, wurden die Abweichungen zwischen beiden Richtungen aufgezeigt. Die statistische Auswertung erfolgte

mit der Software S-Plus. Zur Erreichung einer Normalverteilung wurden die Mittelwerte der Zeitdauer mit einer Wurzelfunktion transformiert. Daraufhin erfolgte eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit 95 % Vertrauensintervall für spezifizierte lineare Kombinationen nach der Methode Bonferroni.

4 Ergebnisse

Die Abflusszeit von 75 % der aufgebrachtten Masse (2000 g) variierte im Mittel bei allen Laufflächenbelägen mit 1 % Gefälle zwischen 166 und 97 s; bei 5 % betrug sie noch zwischen 34 und 28 s. Die zurückbleibende Masse machte bei 1 % Gefälle zwischen 550 und 371 g, bei 5 % zwischen 175 und 35 g aus. Bei der Ausbreitungsfläche ergaben sich bei 1 % Gefälle Werte zwischen 18 696 cm² und 13 514 cm², bei 5 % zwischen 13 628 und 8806 cm². Die höchsten zurückbleibenden Massen resultierten jeweils bei Beton. Die kürzesten Abflusszeiten wies Gummimatte 4 auf. Mit zunehmendem Gefälle wurden die Unterschiede bei den Abflusszeiten und der zurückbleibenden Masse zwischen den einzelnen Gummimatten immer kleiner. Die Abflusszeit und die zurückbleibende Masse nahmen bei allen Laufflächenbelägen bis zu 3 % Gefälle stark ab (Abb. 2 und 3). Der Rückgang zwischen 1 und 3 % betrug bei der Zeitdauer zwischen 67 und 77 %, bei der zurückbleibenden Masse zwischen 59 und 74 %. Bei 3 % Gefälle betrug die zurückbleibende Masse noch zwischen 209 g (bei Beton) und 119 g (bei Gummimatte 5). Diese Massen reduzierten sich bis zum maximalen Gefälle von 5 % noch auf 175 resp. 52 g. Eine noch tiefere Masse ergab sich bei Gussasphalt mit 35 g.

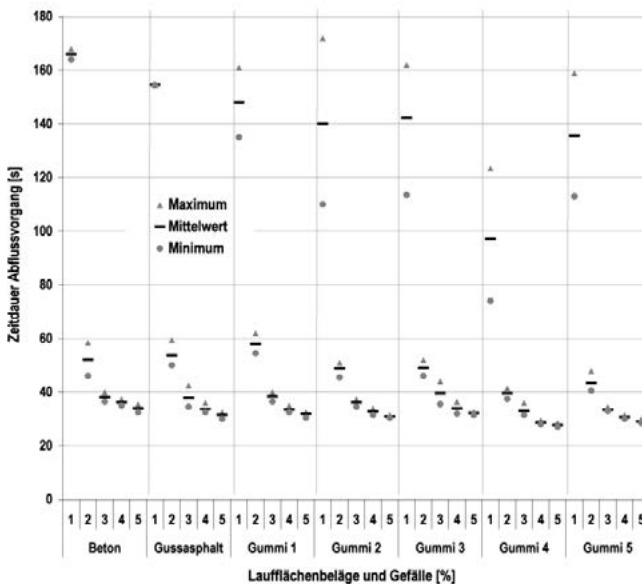


Abb. 2: Zeitdauer des Abflussvorganges bei unterschiedlichen Laufflächenbelägen und Gefällestufen
 Fig. 2: Duration of drainage process of different traffic area floorings and gradients

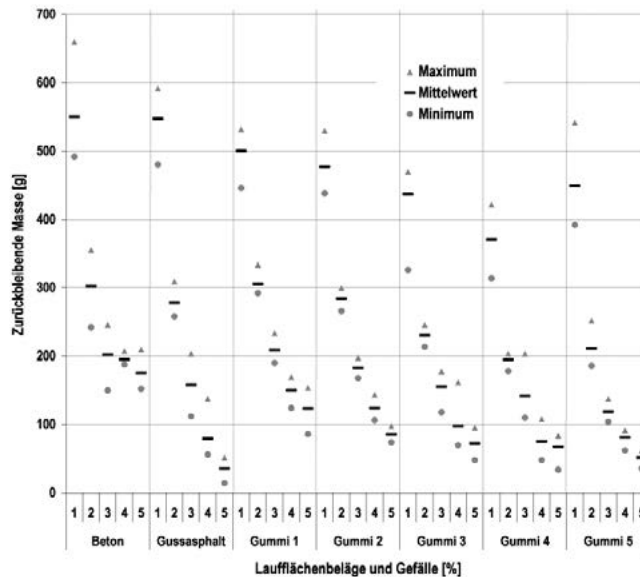


Abb. 3: Zurückbleibende Masse bei unterschiedlichen Laufflächenbelägen und Gefällestufen
 Fig. 3: Quantity remaining of different traffic area floorings and gradients

Im Unterschied zu den Parametern Abflusszeit und zurückbleibende Masse war bei der Ausbreitungsfläche der Vergleich mit 0 % Gefälle möglich. Hierbei ergab sich von 0 zu 3 % Gefälle ein Rückgang von 58 bis 79 %. Die Ausbreitungsfläche lag bei 0 % Gefälle zwischen 22 285 und 16 387 cm², bei 5 % zwischen 13 628 und 8 806 cm². Bei 3 % Gefälle wiesen Beton und Gummimatte 4 mit 13 012 resp. 10 629 cm² die geringsten Ausbreitungsflächen auf. Die größte Abnahme der Ausbreitungsfläche aller Laufflächenbeläge ergab sich mit Ausnahme von Gummimatte 4 bei der Gefällestufe von 1 zu 2 %. Ab 2 % Gefälle nahm die Ausbreitungsfläche jedoch weiter kontinuierlich ab.

Die Standardabweichung der Abflusszeit betrug bei 1 % Gefälle durchschnittlich 17 s und bei der zurückbleibenden Masse 46 g. Ab 2 % Gefälle war die Standardabweichung bereits deutlich niedriger und lag bei 5 % noch bei 0,7 s resp. 17 g. Die Standardabweichung der Ausbreitungsfläche variierte innerhalb der einzelnen Laufflächenbeläge und der Gefällestufen wesentlich stärker als bei den anderen beiden Parametern. Die Varianzanalyse ergab bei allen Parametern zwischen den Gefällestufen bis und mit 4 % signifikante Unterschiede ($P < 0,05$). Für die zurückbleibende Masse war die Signifikanz auch bei der Stufe von 4 zu 5 % vorhanden. Sowohl bei den serienmäßig hergestellten Gummimatten, als auch bei Beton und Gussasphalt ergaben sich keine eindeutigen Richtungseffekte.

5 Diskussion

Bei den verwendeten Laufflächenbelägen wirkte sich das Gefälle wesentlich stärker auf das Abflussverhalten aus als die Oberflächenstruktur. Dennoch zeigten sich tendenziell Unterschiede zwischen den Belägen. Grobe, heterogene Oberflächenstrukturen ergaben bei wenig Gefälle längere Abflusszeiten und eine größere zurückbleibende Masse als die feineren Strukturen bei Gummimatten. Bei den Ausbreitungsflächen lagen Beton und Gussasphalt auf ähnlichem Niveau wie die Gummibeläge. Die gewählte Sandkörnung an der Oberfläche hatte demnach eine ähnliche Wirkung auf die Ausbreitung der Flüssigkeit wie die Erhebungsflächen auf den Gummimatten. Die Ausbreitung der Flüssigkeit wurde somit von der Oberflächenstruktur nicht wesentlich beeinflusst. Die größere Streuung beim Parameter Ausbreitungsfläche könnte neben methodischen Aspekten auf die unterschiedliche Verdrängungswirkung des Kot-Harn-Gemisches gegenüber dem Wasser zurückgeführt werden. Werden die Ergebnisse von allen drei Messparametern berücksichtigt, erscheint Gummimatte 4 vorteilhaft, deren Erhebungsflächen feiner gestaltet und mit den Zwischenräumen symmetrisch angeordnet sind. Struktur und Gefälle müssen demnach so ausgeführt sein, dass eine Drainagewirkung zustande kommt. Je schlechter die Drainierbarkeit einer Lauffläche ist und je mehr Kot-Harn-Gemisch auch nach einem Entmistungsvorgang permanent in den Vertiefungen der Topografie verbleibt (sogenannte Restverschmutzung), desto mehr emissionswirksames Volumen steht zur Verfügung. Vorteilhaft sind Oberflächen mit einem hohen Anteil an offenem Leervolumen (STEINER et al., 2010) und damit geringem geschlossenem Leervolumen, damit die Flüssigkeit bei ausreichendem Gefälle abfließen kann. Bis zu 3 % Gefälle resultierte insbesondere bei den Abflusszeiten und den zurückbleibenden Massen bei allen Laufflächenbelägen ein starker Rückgang.

Bei einem Gefälle von 3–5 % war die Standardabweichung bei den Abflusszeiten tief. Dies bestätigt, dass sich zunehmendes Gefälle auf den kontinuierlichen Abfluss auswirkt. Obwohl auch die Gefällestufe von 3 auf 4 % noch signifikante Unterschiede ergab, stellt sich die Frage, ob die quantitativen Differenzen im Hinblick auf die emissionsmindernde Wirkung noch relevant sind. Unter realen Praxisbedingungen ist davon auszugehen, dass Kot den Abfluss von Harn noch stärker behindert als im vorliegenden Versuch. Dies würde für ein Gefälle von mehr als 3 % sprechen. Dagegen sprechen jedoch ein höherer baulicher Aufwand und offene Fragen bezüglich den Auswirkungen auf das Laufverhalten der Tiere. Aus dieser Sicht ist bei der Ausführung von planbefestigten Laufflächen vorerst ein Gefälle von rund 3 % zu empfehlen.

Im Hinblick auf eine geeignete Messmethodik zeigten die Untersuchungen, dass die Aufnahmetechnik mit Wärmebildkamera und Bildbearbeitung mit Photoshop 7.0 noch zu verbessern sind.

Zur Quantifizierung des Einflusses von Gefälle auf das Abflussverhalten von unterschiedlich gestalteten Laufflächen eignen sich gemäß den vorliegenden Ergebnissen alle drei Messparameter Abflusszeit, zurückbleibende Masse und Ausbreitungsfläche.

Literatur

- Aarnink, A. J. A.; van Ouwerkerk, E. N. J.; Verstegen, M. W. A. (1992): A mathematical model for estimating the amount and composition of pig slurry from fattening pigs. In: *Livestock Production Science* 31, 133–147
- Braam, C. R.; Smits, M. C. J.; Gunnink, G.; Swierstra, D. (1997): Ammonia emission from a double-sloped floor in a cubicle house for dairy cows. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68, 375–386
- Gooch, C. A. (2000): Considerations in Flooring. Dairy Housing and Equipment Systems. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service NRAES-129, Cooperative Extension, Ithaca, New York, 278–291
- Keck, M. (1997): Ammonia Emission and Odour Thresholds of Cattle Houses with Exercise Yards. In: Voermans J. A. M. & Monteny G. J. (eds) *Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities. Proceedings of a International Symposium in Vinkeoord, Netherlands*, 349–355
- Monteny, G. J. (2000): Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen
- Rutzmoser, K. (2009): Schriftliche Mitteilung. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft Grub, 11.5.2009
- Steiner, B.; Kilian, M.; Haidn, B.; Keck, M. (2010): Emissionsrelevante optische Kenngrößen zum Vergleich von Laufflächen-Materialien in Rindviehställen. *Landtechnik* 05, 346–349

Analyse des Energieverbrauchs in der Ferkelproduktion

Energy efficiency in piglet production

STEFAN NESER, JOSEF NEIBER

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT),
Vöttingerstraße 36, 85354 Freising

Schlüsselwörter: Energiebedarf, Ferkelerzeugung
Keywords: energy demand, piglet production

Zusammenfassung

Kontinuierlich steigende Energiepreise und hoher Energiebedarf landwirtschaftlicher Produktionsverfahren stellen für den Gesamtbetrieb in der Innen- und Außenwirtschaft einen erheblichen Anteil betriebsbelastender Produktionskosten dar. Vor allem die Betriebszweige Ferkelproduktion und Ferkelaufzucht haben einen hohen thermischen und elektrischen Energieverbrauch. Bei Neuplanungen und Sanierungsmaßnahmen von Schweineställen ist es daher von großer Bedeutung, Kenntnis über den notwendigen Energiebedarf einzelner Verbraucher zu haben.

Da spezifische Energiebedarfsdaten und umfassende Bewertungen von Einsparmöglichkeiten für landwirtschaftliche Produktionsverfahren und Anlagen nur eingeschränkt zur Verfügung stehen, wird in Forschungsprojekten untersucht, welche technischen Verbesserungmaßnahmen zur Senkung des Energieaufwands eingesetzt werden können.

Um eine qualitative und schnelle Prognose über das vorhandene Energieeinsparpotenzial des Produktionsverfahrens Ferkelerzeugung abgeben zu können, sollen zur zielgerichteten und wirkungsvollen Analyse energetische Referenzwerte festgelegt werden.

Summary

For agricultural farms, a considerable share of variable costs is due to continuously rising energy prices and high energy demand for agricultural production processes. In particular, piglet production and nursery have a high thermal and electric energy demand. For the planning and the redevelopment of pig housing systems, a good knowledge of the energy demand of different consumers is of great importance.

Specific energy consumption data and comprehensive assessments about saving potentials for agricultural production processes and plants are limited. So in current research projects technical improvements are examined for reducing energy consumption. For a qualitative and quantitative evaluation about energy saving potential of the production process of piglet production energetic reference values will be defined.

1 Ermittlung von Kennzahlen zur Bestimmung der Energieeffizienz verschiedener Produktionsverfahren

Für die Bewertung der Energieeffizienz des einzelnen Betriebes werden konkrete Energiebedarfswerte spezialisierter landwirtschaftlicher Betriebe ermittelt. Die Vorgehensweise bei der Bestimmung dieser Vergleichskennzahlen beruht auf einem dreigliedrigen Ansatz.

Zum einen werden durch die Kombination von Stromverbrauchs- und Betriebsdatensätzen bayerischer landwirtschaftlicher Betriebe betriebsgrößenabhängige Durchschnittswerte des gesamten Elektroenergiebedarfs für das entsprechende Produktionsverfahren bestimmt. Durch eine Gegenüberstellung vergleichbarer Betriebe kann somit eine Bewertung des Elektroenergieeinsatzes erfolgen.

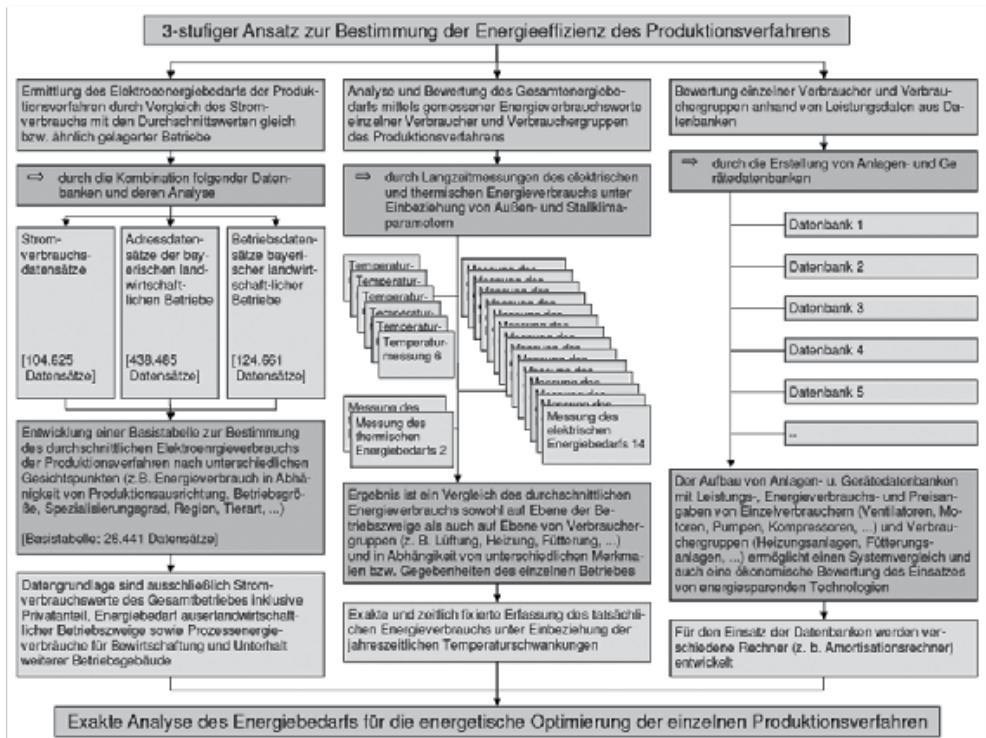


Abb. 1: Ansatz zur energetischen Analyse des Produktionsverfahrens

Fig. 1: Beginning for the energetic analysis of the production procedure

In einem zweiten Schritt wird der verfahrensabhängige Gesamtenergiebedarf mittels gemessener Energieverbrauchswerte einzelner Verbraucher und Verbrauchergruppen analysiert und bewertet. Die Messungen finden auf elf ausgewählten Ferkelerzeugerbetrieben statt. Unter Berücksichtigung verschiedener Betriebsmerkmale, Außen- und Stallklimaparameter werden konkrete elektrische und thermische Energiebedarfskennzahlen auf Betriebszweigebene bestimmt.

Der dritte Ansatz beruht auf dem Aufbau von Anlagen- und Gerätedatenbanken, um anhand von Leistungsdaten den gegenwärtigen spezifischen Energieverbrauch einzelner Anlagenkomponenten quantifizieren zu können. Dies ermöglicht einen Systemvergleich und eine ökonomische Bewertung des Einsatzes energiesparender Technologien.

2 Elektroenergieverbrauch landwirtschaftlicher Betriebe

Die Grundlage für wirtschaftliche Kalkulationen zu verfahrenstechnischen Änderungen und der Abschätzung von Energieeinsparpotenzialen bildet eine Energieverbrauchsanalyse bayerischer landwirtschaftlicher Betriebe.



Abb. 2: Durchschnittlicher Elektroenergieverbrauch bayerischer landwirtschaftlicher Betriebe – Auswertung von Stromverbrauchsdatensätzen aus dem Jahr 2007

Fig. 2: Average electric power consumption of Bavarian agricultural farms - evaluation of current consumption data records from the year 2007

Für die Bestimmung des Elektroenergiebedarfs der einzelnen Produktionsverfahren werden Betriebe mit gleichgelagerten betriebswirtschaftlichen und produktionstechnischen Einzelausrichtungen zu Betriebsgruppen zusammengefasst. Bei den spezialisierten Veredelungsbetrieben (Schweineaufzucht- und Schweinemastbetriebe) und den Veredelungs-Verbund-Betrieben (Schweineaufzucht- und Mastverbundbetriebe) liegt der durchschnittliche Energieverbrauch bei 35043 und bei 26952 kWh/Jahr und ist im Vergleich zu den andern Betriebsgruppen (spezialisierte Acker- und Futterbaubetriebe, Pflanzenbau- und sonstige Verbundbetriebe) am höchsten.

3 Elektroenergiebedarf spezialisierter Zuchtsauenbetriebe

Der durchschnittliche betriebsgrößenabhängige Elektroenergieverbrauch je Zuchtsau wurde anhand von 1.084 spezialisierten Zuchtsauenbetrieben ermittelt. Der durchschnittliche Energieverbrauch beträgt 26 584 kWh/Betrieb/Jahr sowie 500 kWh/Zuchtsau/Jahr. Der Gesamtstrombedarfswert beinhaltet neben dem Energiebedarf für das Produktionsverfahren Ferkelerzeugung teilweise auch den Haushaltsstromverbrauch und den Strombedarf weiterer Betriebszweige.

In der Betriebsgrößenklasse bis 50 Zuchtsauen sind die meisten Betriebe (61 %) vertreten. Betriebe über 100 Zuchtsauen machen nur einen Anteil von 9 % aus. Die Streubreite der Energieabnahme innerhalb der einzelnen Betriebsgrößengruppen ist enorm hoch. Der durchschnittliche Stromverbrauch liegt zum Beispiel in der Betriebsgrößengruppe bis 50 Zuchtsauen bei über 680 kWh/ZS/Jahr, der Minimalwert bei 176 kWh/ZS/Jahr, der Maximalwert bei 1 473 kWh/ZS/Jahr.

Mit steigender Betriebsgröße nimmt der durchschnittliche Elektroenergieverbrauch je Zuchtsau bei Betrieben mit mehr als 200 Zuchtsauen auf 285 kWh/ZS/Jahr ab.

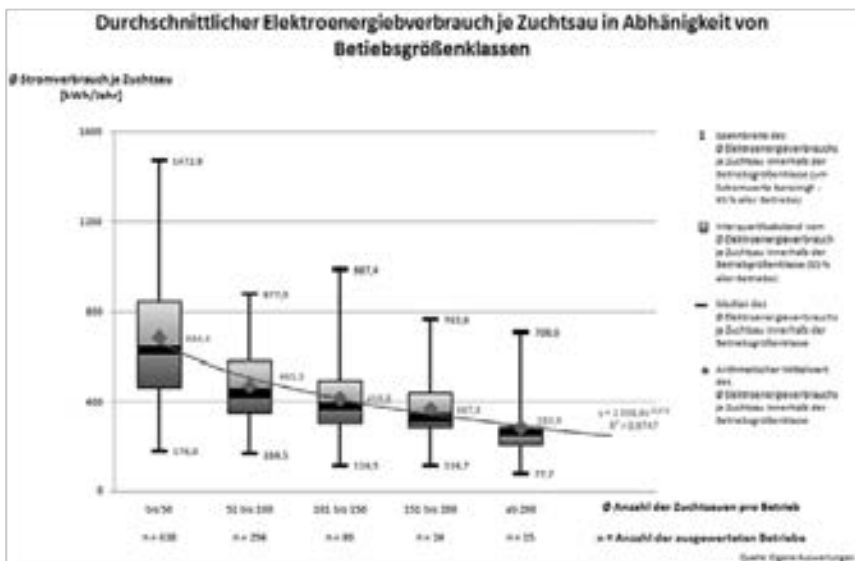


Abb. 3: Elektroenergieverbrauch spezialisierter Zuchtsauenbetriebe in Abhängigkeit von der Betriebsgröße
 Fig. 3: Electric power consumption of specialized breeding sow enterprises as a function of the size of company

4 Ergebnisse der Messung von Energiebedarfswerten auf Praxisbetrieben

Die Auswertungen von betriebsbezogenen Gesamtstromverbrauchsdatensätzen sind aufgrund der Einbeziehung produktionszweigfremder Positionen, zur Festlegung von Referenzwerten nur bedingt geeignet. Sie können jedoch erste Orientierungspunkte zur Definition von Vergleichskennzahlen darstellen.

Deshalb werden in einem 2. Arbeitsschritt konkrete Energieverbrauchsmessungen von Elektro- und Heizenergiewerten auf Praxisbetrieben auf Ebene der Einzelverbraucher durchgeführt.

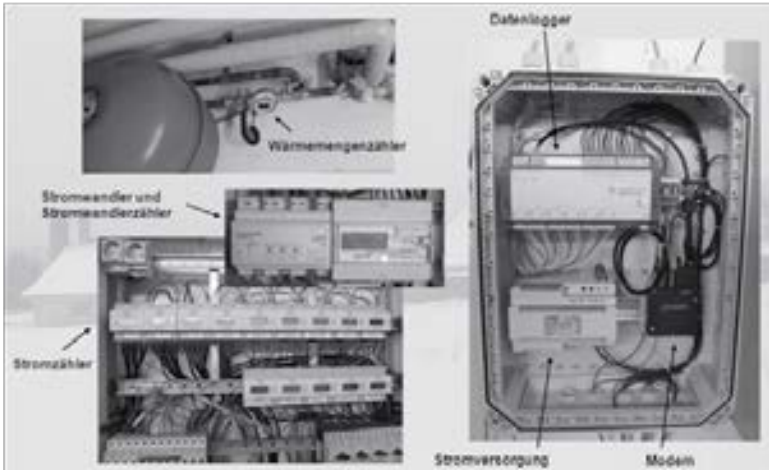


Abb. 4: Beispiel der installierten Mess- (Wärmemengen- und Stromzähler), Datenübertragungs- und Datenspeichertechnik auf Praxisbetrieben

Fig. 4: Example of the installed measuring and data memory technology on the farms

Die Installation der Technik zur Energiebedarfsmessung einzelner Verbraucher und Verbrauchergruppen ist seit Februar 2011 auf 11 Betrieben abgeschlossen. Mit den erhobenen Daten werden horizontale Betriebsvergleiche des Energieverbrauchs ermöglicht. In der folgenden Auswertung liegen die anlagenbezogenen Strom- und Heizenergieverbrauchswerte von 7 Praxisbetrieben im Zeitraum Juli bis Dezember 2010 zugrunde. Die Ergebnisse stellen den aktuellen Forschungsstand dar und werden durch die Bezugsgröße kWh/Zuchtsau definiert.

Der Heizenergieaufwand der Praxisbetriebe lag im Juli bei 10,4 kWh/ZS/Monat und erhöhte sich bis zum Dezember auf 35,1 kWh/ZS/Monat, der Gesamtstromverbrauch lag zwischen 16,1 kWh/ZS im August und 12,8 kWh/ZS im November.

Die Außentemperatur sank von 21,2 °C im Juli auf -3,2 °C im Dezember 2010. Dies hatte eine deutliche Steigerung des thermischen Energieverbrauchs zur Folge. Mit fallenden Temperaturen ist auch ein längerer Einsatz der Infrarotlampen verbunden. Eine deutlich erhöhte Stromabnahme ist für diesen Sektor erkennbar und macht ca. 15 % des Gesamtstromverbrauchs aus. Bei gleichbleibenden Bestandsgrößen waren bei den anderen Verbrauchern über das Jahr verteilt geringere Verbrauchsschwankungen zu verzeichnen, da diese nicht dem Witterungsverlauf unterworfen sind.

In drei Betrieben entstehen für die Futteraufbereitung keine Energiekosten, da Lohnunternehmen mit mobilen Futtermischanlagen diesen Arbeitsgang übernehmen. In den anderen vier Betrieben entfallen ca. 9 % des Gesamtstromverbrauchs auf die Futteraufbereitung.

Strom- und Heizenergieverbrauchswerte

	2010	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Außentemperatur	°C	21,2	17,3	12,6	8,0	5,3	-3,2
Heizenergie	KWh/ZS	10,4	18,0	20,4	27,0	29,4	35,1
Stromverbrauch Gesamt	KWh/ZS	15,9	16,1	12,9	13,1	12,8	11,8
Lüftung Gesamt	KWh/ZS	10,8	9,8	7,0	6,1	5,8	5,7
Fütterung	KWh/ZS	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7
Futteraufbereitung	KWh/ZS	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1
Betriebsstrom Heizung	KWh/ZS	0,5	0,6	0,7	0,9	0,8	1,0
IR-Lampen	KWh/ZS	0,8	2,0	1,7	2,5	2,7	3,1
Beleuchtung	KWh/ZS	0,9	1,1	1,1	1,5	1,4	1,5
Reinigung	KWh/ZS	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5

Quelle: Eigene Erhebungen

Abb. 5: Durchschnittlicher Heiz- und Elektroenergiebedarfswerte von sieben Praxisbetrieben (ZS) im Zeitraum Juli bis Dezember 2010

Fig. 5: Average heating and electric power need values of seven farms in the period July until December 2010

Für die Lüftung wurde mit 53 % des Gesamtstromverbrauchs die meiste Elektroenergie aufgewendet, wobei in den Sommermonaten der Energieaufwand für die Lüftung deutlich höher lag. Die Ergebnisse der Messungen bestätigen den in der Literatur angegebenen enormen Heizenergieaufwand und die hohen Leistungsabnahmen des Verbrauchsbereichs Lüftung am gesamten Elektroenergieverbrauch in der Ferkelerzeugung.

Stromverbrauch des Produktionsverfahrens Ferkelproduktion

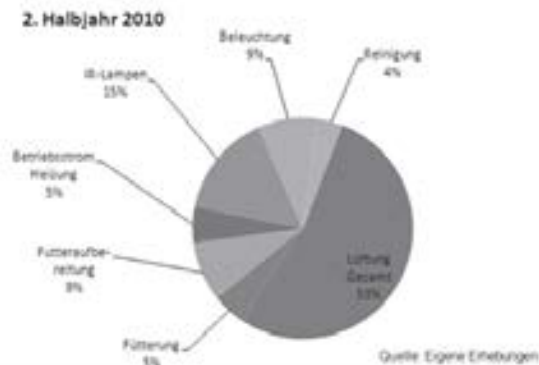


Abb. 6: Anteile der Verbrauchsbereiche am gesamten Stromverbrauch im 2. Halbjahr 2010

Fig. 6: Portions of the consumption ranges of the entire current consumption in the 2nd half-year 2010

Anhand detaillierter Energiebedarfsmessungen auf Praxisbetrieben können Aussagen über den Energiebedarf der einzelnen Produktionsabschnitte Abferkelbereich, Deck- und Wartebereich, Ferkelaufzucht und falls vorhanden Mastbereich getroffen werden. Zudem

werden bautechnische Daten der Stallgebäude erhoben, um diese in Verbindung mit dem Heizenergieverbrauch zu bewerten. Die Messintervalle mit 1/4-h Messungen ermöglichen die Darstellung von Lastgängen und das Erkennen von Spitzenlastzeiten.

5 Aufbau der Anlage- und Gerätedatenbank

Die Entwicklung der Datenbank basiert auf dem Ansatz, mit maßgebenden Leistungsdaten der technischen Anlagen und Geräte eine Vergleichsrechnung aufzustellen, um Rückschlüsse auf deren Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz ziehen zu können. Die Datenbank beinhaltet eine Auflistung der technischen Komponenten, die in der Ferkelproduktion zum Einsatz kommen. Die gesamte Typisierung und Leistungsbeschreibung wird unter anderem aus Firmenangaben, DLG-Prüfungen und Internetrecherchen zusammengestellt.

Mit der Anlagen- und Gerätedatenbank können somit die Leistungsdaten der verschiedenen Anlagenkomponenten bewertet werden. Sie wird im Zuge der Forschungsarbeit ständig erweitert und ausgebaut.

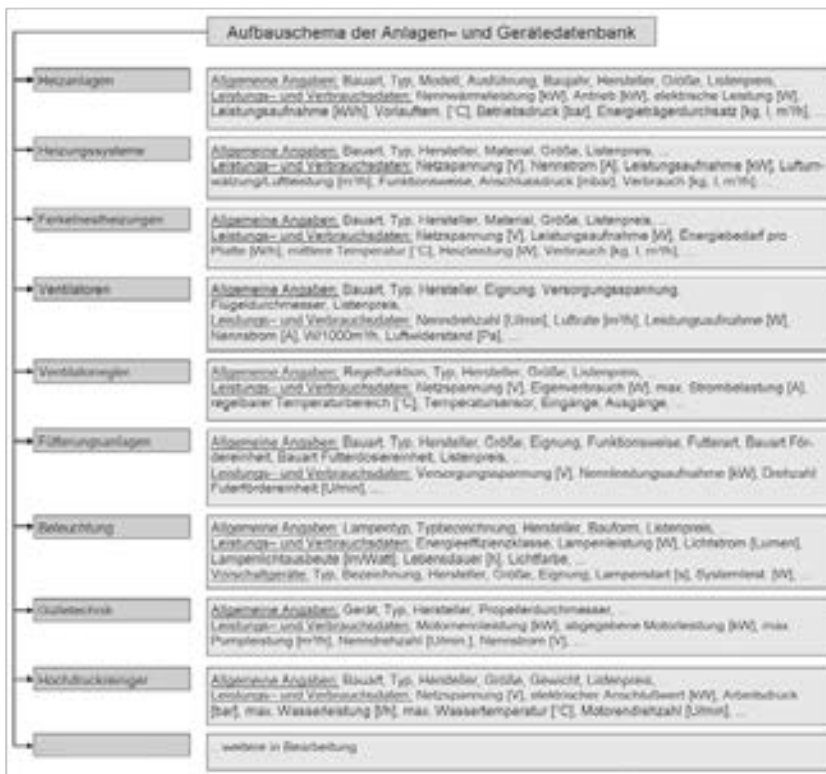


Abb. 7: Aufbauschema der Anlage- und Gerätedatenbank

Fig. 7: Structure of the design information bank and equipment data base

6 Fazit

Mit den berechneten Durchschnittswerten aus der Massendatenerhebung können in Verbindung mit den gemessenen Energieverbrauchswerten unter Praxisbedingungen und den Leistungsdaten der Anlagen- und Gerätedatenbank Planwerte für den Gesamtbetrieb und die einzelnen Produktionsabschnitte gebildet werden. Konkrete Handlungsempfehlungen, die Einsparpotenziale auf Einzelbetriebsebene ermöglichen und Hilfestellungen bei Neu- und Ersatzinvestitionen geben sollen, bilden die Grundlage für eine energieeffizientere Betriebspraxis.

Wirkung der Presswerkzeuge auf die Siliergutstruktur bei der Einlagerung von Silomais im Folienschlauch

Effect of pressing tools on feedstructure of silage corn during the crop compaction of bagging machines

MAREN HÖCKER, CHRISTIAN MAACK, WOLFGANG BÜSCHER

Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nussallee 5, 53115 Bonn

Schlüsselwörter: Folienschlauch, Struktur, Silomais

Keywords: plastic tube, structure, silage maize

Zusammenfassung

Bei der Silierung von Mais im Folienschlauch wird das Erntegut mithilfe einer Förder- und Presstechnik durch einen Tunnel in den Schlauch eingelagert. Es wurde angenommen, dass die Verdichtungswerkzeuge einen negativen Einfluss auf die Struktur des Maises haben, oder sogar zur Vermusung des Materials führen.

Ziel dieser Arbeit war es, durch direkt vergleichende Untersuchungen des Siliergutes, Effekte der Materialbeanspruchung auf das Siliergut zu bewerten.

Die Siebungen wiesen zwar darauf hin, dass die Presswerkzeuge einen Effekt auf die Partikelgröße und die Ansäuerungsgeschwindigkeit des Substrates haben, auf die Analyseergebnisse, insbesondere auf den Strukturwert hatte die Behandlung jedoch keinen Einfluss.

Summary

In the process of ensilaging corn in plastic tubes, the harvested goods get embedded in the tubes by conveyor and moulding technique. Assuming that the compaction instruments have a negative impact on the feedstructure, they might also lead to squished good.

The aim of this work was to evaluate the effect of shredding forage by a comparative analysis of harvested goods.

The sievings indicated that the bagging machine effected the particle size of the analyzed substrates but beyond that the structural value and acidification rate wasn't effected by the technique.

1 Einleitung

Aufgrund der flexiblen Einsetzbarkeit und guten Konservierungsergebnisse hat die Folienschlauchtechnologie für verschiedene Siliergüter Verbreitung gefunden. Die Siliergutförderung und -verdichtung mittels Pressrotor führt zu einer stärkeren mechanischen Belastung der Siliergüter als bei anderen Verdichtungsverfahren.

Aus der Praxis ist bekannt, dass diese Wirkung überwiegend beim Mais von höherer Bedeutung ist. Insbesondere aus Gründen der Pansenphysiologie ist der Erhalt der Futterstruktur bis zur Verfütterung ein wichtiger Faktor für die bedarfsgerechte Wiederkäuerernährung (STEINGASS und ZEBELI, 2008). Futterkomponenten, die eine bestimmte physikalische Eigenschaft aufweisen, regen zum Wiederkäuen an, erhöhen die Speichelsekretion und stabilisieren somit den pH-Wert im Pansen. Eine Pansenübersäuerung, die zu Stoffwechselstörungen oder zu Milchfettabfall führen kann, ist Folge nicht ausreichender Strukturversorgung (BUSCH et al., 2004; SPIEKERS et al., 2009).

Ziel dieser Studie war es, durch experimentelle Untersuchungen während der Einsilierung im Folienschlauch zu überprüfen, ob eine Veränderung hinsichtlich der Partikelgröße und Struktur von Silomais in Folge des Pressvorgangs mittels Rotormaschinen vorliegt. Weiterhin wurde überprüft, inwiefern Strukturveränderungen Einfluss auf Nährstoffgehalte, Gärqualität und Ansäuerungsgeschwindigkeit haben. Um einen Einblick auf die Auswirkung der Verdichtungswerkzeuge zu erlangen, wurden die Experimente im großtechnischen Maßstab auf Praxisbetrieben durchgeführt.

2 Material und Methoden

2.1 Probenentnahme

Die Untersuchung wurde auf zwei Betrieben zum Zeitpunkt der Einlagerung während der Silomaisernte 2010 durchgeführt.

Auf dem ersten Versuchsbetrieb wurde mit einer Siloschlauchpresse (Pressrotormaschine) der Firma BAG Budissa Agro Service vom Typ G 6700 gearbeitet. Die vom Feldhäcksler eingestellte theoretische Häcksellänge (l_{th}) betrug 6 mm.

Auf dem zweiten Versuchsbetrieb kam ebenfalls eine Pressrotormaschine vom gleichen Hersteller zum Einsatz. Neben einem anderen Maschinentyp (hier G 7000) unterschied sich diese Untersuchung von der vorherigen in der theoretisch eingestellten Häcksellänge von 8 mm.

Die Frisch-Proben wurden im Sturzbunker der Schlauchpresse genommen, während die Entnahme des gepressten Materials mittels Bohrstock im Schlauch erfolgte. Von beiden Betrieben wurden Proben zur Partikelgrößenfraktionierung entnommen. Zur Untersuchung der pH-Wert-Absenkung sowie zur Bestimmung der Inhaltsstoffe wurde Material vom ersten Betrieb verwendet.

2.2 Laboruntersuchungen

Die Siebanalyse wurde nach KROMER (1993) nach standardisierter Methode durchgeführt. Der Siebturm war mit sieben Böden ausgestattet, deren Rundlochsiebe einen Durchmesser von 40, 25, 15, 10, 6, 3 und 2 mm aufweisen. Dieser wird mit einem

E-Motor über einen Kurbeltrieb und einer Pleuelstange in horizontale Schwingung versetzt. Ein Durchgang dauert drei Minuten mit einer Intervallschaltung im Verhältnis Laufzeit zu Ruhezeit von drei Sekunden zu einer Sekunde. Pro Siebung wurden 100 g trockenes Material eingewogen und in den Siebturm gegeben. Die Massenanteile der Fraktionen beziehen sich somit auf die Trockenmasse.

Für die Versuchsreihe zur Ansäuerungsgeschwindigkeit wurden nach Vorgabe der DLG (2000) Kleinsilos in 1,5 l Weckgläsern angelegt. Die Gläser wurden dabei manuell mit 1 kg Frischmasse gefüllt, verdichtet und verschlossen für drei Tage in einem Klimaschrank bei konstant 25 °C gelagert.

Die pH-Wert-Absenkung wurde nach dem Methodenbuch III der VDLUFA-Richtlinien bestimmt (VDLUFA, 1997). Dazu wurden 50 g Frischmasse mit 500 ml destilliertem Wasser in ein Becherglas gegeben und für 12 Stunden bei Zimmertemperatur gelagert. Anschließend wurde der Inhalt filtriert und die Wasserstoffionenkonzentration des Filtrats mithilfe einer Glaselektrode ermittelt.

Zur Bestimmung der Inhaltsstoffe und Silagequalität wurde ein weiterer Silierglasversuch angelegt. Nach 90-tägiger Lagerdauer im Klimaschrank wurden die Untersuchungen der Silagen von der VDLUFA durchgeführt.

Tab. 1: Versuchsanstellung

Tab. 1: breadboard construction

	Häcksellänge (l_{th})	Partikelgrößenfraktionierung	Ansäuerungsgeschwindigkeit	Gärqualität
Betrieb 1	6 mm	n = 12*	n = 4*	n = 4*
Betrieb 2	8 mm	n = 12*	--	--

*= pro Variante

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Siebanalyse

Die Partikelstruktur des verdichteten Siliergutes wies im visuellen Vergleich deutliche Unterschiede gegenüber dem Ausgangsmaterial auf. Der größte Massenanteil verteilte sich bei einer theoretischen Häcksellänge von 6 mm (Abb. 1) für beide Varianten zwar in den mittleren Fraktionen, es wurden aber signifikante Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Insbesondere im Bereich der Fraktionen größeren Lochdurchmessers kam es zu einer Verschiebung der Massenanteile hin zu den Fraktionen kleinerer Größenklassen. In den Größenklassen 3 bis 6 mm und 6 bis 10 mm erhöhten sich die Anteile von 23 % auf 26 % bzw. von 49 auf 52 %. Der Anteil der Feinpartikel unter 2 mm hatte nicht zugenommen.

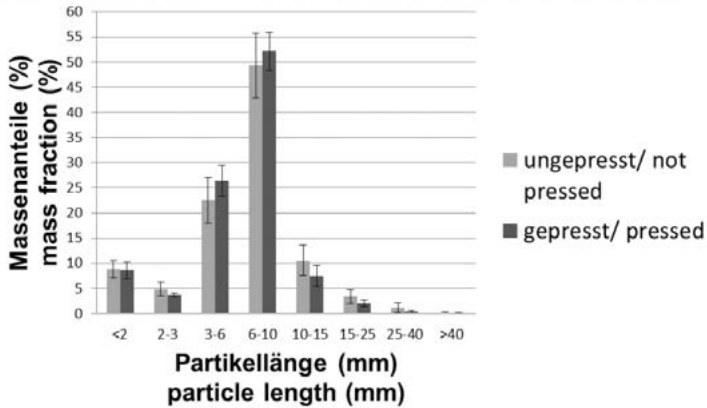


Abb. 1: Darstellung der durchschnittlichen Massenanteile bezogen auf die Partikellänge von Betrieb 1 ($l_{th} = 6 \text{ mm}$, $n = 12$)

Fig. 1: Average mass fractions versus length of particles on farm 1 ($l_{th} = 6 \text{ mm}$, $n = 12$)

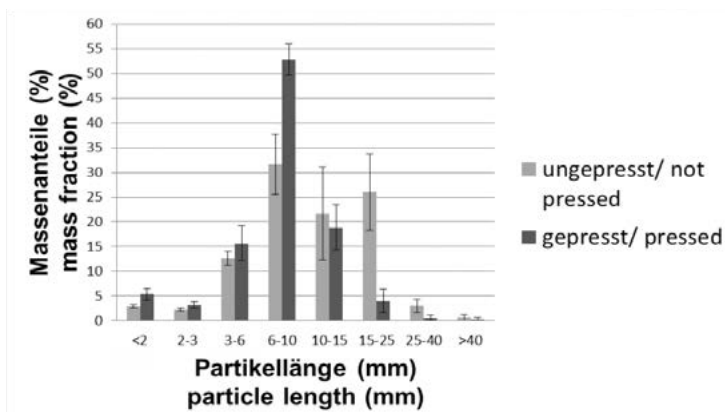


Abb. 2: Darstellung der durchschnittlichen Massenanteile bezogen auf die Partikellänge von Betrieb 2 ($l_{th} = 8 \text{ mm}$, $n = 12$)

Fig. 2: Average mass fractions versus length of particles on farm 2 ($l_{th} = 8 \text{ mm}$, $n = 12$)

Bei einer theoretischen Häcksellänge von 8 mm traten bezüglich der Partikelverteilung teilweise sehr viel größere Unterschiede zwischen den Varianten auf (Abb. 2). Es wurde deutlich, dass sich gerade im Bereich der Überlängen die Massenanteile durch den Pressvorgang in Richtung kleinerer Fraktionen verschieben. In der Größenklasse 15 bis 25 mm verringerten sich die Massenanteile durch den Werkzeugeinfluss von 26 auf 4 %. Dadurch erhöhten sich die Anteile im Bereich 6 bis 10 mm von 32 auf 53 %.

3.2 Ergebnisse der pH-Wert-Messung

Die pH-Wert-Messung nach drei Tagen abgeschlossener Lagerung im Silierglas zeigte bei beiden Gärsubstraten eine schnelle Ansäuerung. Dabei hat sich herausgestellt, dass ein geringer aber signifikanter Unterschied zwischen dem verdichteten Siliergut (pH 4,2) und dem Ausgangsmaterial (pH 4,3) besteht.

3.3 Ergebnisse der Inhaltsstoffe und Gärqualität

Die Untersuchung der Standardinhaltsstoffe sowie der Gärqualität wurden von der LUFA durchgeführt.

Die Gärproduktanalyse hat ergeben, dass die Silagen allgemein eine sehr gute Qualität aufweisen. Dabei kam es nur zu sehr geringen Abweichungen zwischen den Varianten. Geringe Unterschiede wurden bezüglich der Rohaschegehalte, des Rohproteins und der RNB ermittelt, wobei die Werte der gepressten Variante geringfügig aber signifikant höher lagen, als die des Ausgangssubstrates. Der Energiegehalt des verdichteten Siliergutes lag mit einem Wert von $6,7 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ NEL minimal höher als der des Ausgangsmaterials.

Unterschiede zwischen den Varianten konnten bei Strukturwert, Rohfaser, NDF, ADF und nXP nicht festgestellt werden.

4 Diskussion

Die Ergebnisse der Siebungen von Betrieb 1 zeigten, dass die Pressrotoren Einfluss auf die Partikelstruktur haben. Eine Verschiebung der größeren Fraktionen in Richtung der kleineren ist deutlich erkennbar.

Dass die Verdichtungswerkzeuge eine sehr große Wirkung auf die Partikelgrößen haben, zeigten die Siebergebnisse von Betrieb 2. Folglich kann man daraus schließen, dass es durch den Verdichtungsprozess bei größeren Häcksellängen ($l_{\text{th}} = 8 \text{ mm}$) zu einem stärkeren Einfluss bezüglich der Partikelgrößenverschiebung kommt, als bei kleineren ($l_{\text{th}} = 6 \text{ mm}$).

Die Ergebnisse zur Bestimmung der Inhaltsstoffe und Gärqualität wiesen wiederum darauf hin, dass der Verdichtungsmechanismus insbesondere auf den Strukturwert und Energiegehalt des Mais eine sehr geringe Wirkung hat (Betrieb 1).

Es stellte sich bei dieser Untersuchung heraus, dass der Verdichtungsprozess einen Effekt auf die Ansäuerungsgeschwindigkeit hat. Die Gärung verläuft durch den intensiveren Gutaufschluss während der Pressung zu Beginn etwas schneller. Die sehr kurze aerobe Befüllzeit bei der Schlauchsilierung, die als Vorteil gegenüber der Flachsilo-Silierung zu werten ist, spielte bei der Versuchsanordnung keine Rolle, da die Proben ohne Zeitverzug in den Gläsern verdichtet und verschlossen wurden.

5 Schlussfolgerung

Die Partikellängen werden bei kurz gehäckseltem Siliergut leicht verändert. Es kommt zu einer geringen Verschiebung innerhalb der Größenklassen, die den Strukturbewertungsmaßstäben nach zu urteilen keinen bedeutenden Effekt auf die Pansenphysiologie und die Milchleistung der Wiederkäuer hat.

Abschließend ist zu sagen, dass es durch den Verdichtungsvorgang bei der Folien-schlauchtechnologie zu Veränderungen der Partikelgrößen beim Mais kommt. Bei größerem Material ist der Effekt größer als bei feinerem Häckselgut. Einflüsse der Werkzeuge auf die Strukturbewertungsmaßstäbe bei Siliergut mit einer theoretischen Häcksellänge von 6 mm konnten nicht bewiesen werden, auch die befürchtete Vermusung blieb aus. Die Ansäuerung erfolgte bei gepresstem Häckselgut schneller, als bei ungespresstem.

Literatur

- Busch, W.; Methling, W.; Amselgruber, W. M. (2004): Tiergesundheits- und Tierkrankheitslehre, Parley Verlag, Stuttgart
- DLG (2000): DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gütezeichen-Fähigkeit. DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- Kromer, K.-H. (1993): Zerkleinerung von Mais in Trommelschneidwerken. In: Fortschrittberichte VDI, Reihe 14, Nr. 60, Düsseldorf
- Spiekers, H., H. Nußbaum, V. Potthast (2009): Erfolgreiche Milchviehfütterung. In: Futterkonservierung, 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- Steingaß, H.; Zebeli, Q. (2008): Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. In: 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Irding, 19–25
- VDLUFA (1997): Methodenbuch Band III/2: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Darmstadt

Investigations about Packing Machines for Chopped Forage in Turkey

Untersuchungen zu Maschinen für die Häckselgutverpackung in der Türkei

HAMDİ BILGEN, HARUN YALCIN, BÜLENT ÇAKMAK, MEHMET EVRENOSOĞLU

Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery, 35100 Bornova/İZMİR, Turkey

Keywords: packing machinery for chopped forage, baled silage, wrapping of bale silage

Schlüsselwörter: Häckselgutverpackung, Ballensilage, Ballenwickelmaschinen

Summary

In this study, some silage packing machines and bale wrappers which took place in Turkey had been examined in the years between 2008–2010. Machines specifications, usage and packed materials condition had been revealed. The study based on the tests and field work which took place in the most popular regions in Turkey which those machines had been widely used. Trials with the machines were made in the realistic working conditions in the dairy farms.

In the conclusion of the study, silage packing machines and facilities were examined. Their operational characteristics were revealed. Especially due to the subsidies that have still been given to the dairy industry shows us that packed silage feed's usage will increase in the future.

Zusammenfassung

Insgesamt wurden in der Studie Maschinen für die Verpackung von Silage sowie Ballenwickelmaschinen untersucht. Die Studie basiert auf Tests und Feldarbeiten in den Regionen in der Türkei, in denen die Maschinen am weitesten verbreitet sind. Die Versuche wurden unter praxisbezogenen Arbeitsbedingungen in Milchviehbetrieben durchgeführt. Zudem wurden deren Betriebsdaten überprüft.

Die Nutzung von verpackter Silage wird, hauptsächlich aufgrund der Subventionen, welche die Großviehbetriebe immer noch erhalten, in Zukunft weiter zunehmen.

1 Introduction

One of the most important problem of today's livestock industry is to produce quality and economical feed which takes 70 % of the expenses. In order to decrease feed expenses, producers are using silage feed for economical reasons. Meanwhile silage production is a process which contains different production technology; requires sufficient land, equipment, dense labour and time. Large scale farms which wants to focus on their special production or small farms which do not own the necessary requirements to produce silage prefer to buy silage. Those demands makes the silage material as a trading material (YALCIN and BILGEN, 2002).

Even though the trade of silage material is not a new state, in previous periods it was made like transferring the fermented material to the feeding location. In those conditions the material had 1–2 days of consumption and transfer losses were high. The material packed that way had a limited quality referring to bunker silo. (BILGEN et al., 2005). In the following periods, unfermented material transferred and fermentation process took place in the final location. But that method had transfer losses and not suitable for small farms. Because of that reason alternative methods came out (YALCIN and BILGEN, 2001). With the new process individually packed silage material brought many advantages.

1.1 Packed Silage Production Techniques

During the development of the idea of packing silage material, the preparation and fermentation process of silage materials also needs to be considered. Silage is produced by a chopped material containing high amount of water which is pressed into an anaerobic environment, so packed silage should have the same conditions. Even though fermented material has the same procedure for packaging, it needs to be consumed in a shorter time comparing to unfermented material.

The first studies about silage packaging in the world took place in England around 1970 where grass material put into bags (WILDER ENGINEERING, 1987). After the developments of petro polymer technology, stretch covering material used in silo bags and that enhanced packaging method (BRAUN, 1992). The method of wrapping grass materials as bales used for a long time in Europe and studies in our country begun around 1980, they took place in Ege University Agricultural Faculty where researcher of departments baled chopped corn for silage (BILGEN et al., 1992). In the year of 2000 some companies in Europe made and sold compact machines which made corn silage bales for the first time. Following these developments some manufacturers decided to develop new design for the demands of silage feed in the market.

The methods of packed silage in our country are as follows;

- Packing of grass bales,
- Baling chopped corn for silage,
- Packing chopped corn for silage,
- Packing other chopped materials with materials suitable for silage.

In this study, machines and installations which packs silage materials in Aegean Region between the years of 2008-2010 were investigated and results about their performances were given. After the evaluation of these results a view of the future vision was made.

2 Material and Method

In this study, silage packer machines with different capacities were investigated in different dairy farms in Turkey (ANONYMOUS, 2008–2009). Machines were operated under practical conditions in related farms. Technical features and test results were evaluated. There are two imported and two domestic machines which are widely being used in Turkey (Göweil, Orkel, Tunkas and Tosun). In the study test results relating to Göweil and Tunkas machines are given but unfortunately there has been no conducted tests with Orkel and Tosun machines therefore specifications about those machines are not given in the study.

Machines and Installations investigated in the study:

- 2.1 Baler and Packer Machine for Chopped Forage Feed (Import)
- 2.2 Baler and Packer Machine for Chopped Forage Feed (Domestic)
- 2.3 Packing Installation for Chopped Forage Feed (Domestic)

2.1 Baler and Packer Machine for Chopped Forage Feed (Import)

This Austrian made machine is manufactured by “Göweil” company and it is a pull-type, PTO driven machine, stationary operated, has baling and wrapping units, bales and packs any kind of forage material in cylindrical form. Machine consists of; drawbar, bunker, baling chamber, bale control unit, lubrication unit, transmission system and wrapping unit. Technical dimensions of the machine is given in Table 1.

Tab. 1: Baler and Packer Machine for Chopped Forage Feed dimensions (Göweil)

Tab. 1: Abmessungen der Ballenpresse und Wickelmaschinen für Häckselgut (Göweil)

General length (Transport position)	10770 mm
General length (Operative position)	11550 mm
General width (Transport position)	2550 mm
General width (Operative position)	3500 mm
General height	3950 mm
Weight	14 t

Baling unit is operated by PTO drive directly but floor conveyors and wrapping unit are operated by hydromotors activated with PTO drive. Baling units requires 110 HP for functioning.

Chopped material was unloaded to bunker and transferred by floor conveyors into the baling chamber. The band used for pressing and baling also prevents material to disperse. This rubber band's tension can be hydraulically adjusted and that enables to keep the same pressing density for every bale. In order to keep the cylindrical form of a baled material, the material's round is been netted at the end of baling process before the material leaves the baling chamber. The number of netting can be adjusted up to 2–9 turns. Netted material gets packed at the end of the machine with wrapping unit.

The results in Table 2 and 3 represents two different farms and different materials. After baling the corn material's bulk density increased 3 times from 220 kg m⁻³ to 640 kg m⁻³ and sugar beet pulp material's bulk density increased 1.5 times from

658 kg m⁻³ to 900 kg m⁻³. Bales which had high amount of moisture content had problems to keep their cylindrical form.

Tab. 2: Processing time and machine work rate values in different baling pressures of corn and sugar beet pulp materials

Tab. 2: *Bearbeitungszeit und Arbeitsleistung der Maschinen bei verschiedenen Pressdrücken bei der Verarbeitung von Mais und Zuckerrübenpülpe*

Material	Baling Pressure	Baling Time (min)	Wrapping Time (min)	Total Processing Time (for 3 bales)	Machine Work Rate (bale h ⁻¹)
Corn	85 bar	1,42	0,61	4,87	37
	115 bar	1,55	0,58	5,25	34
	145 bar	1,79	0,56	5,96	30
Sugar beet pulp	40 bar	1,07	0,84	4,05	44
	55 bar	1,24	1,09	4,67	38

Tab. 3: Physical properties of bales

Tab. 3: *Physikalische Eigenschaften der Ballen*

Material	Baling Pressure	Bale Diameter (mm)	Bale Height (mm)	Bale Weight (kg)	Bulk Density of the Baled Material (kg m ⁻³)
Corn	85 bar	1125	1190	750	625
	115 bar	1140	1190	780	640
	145 bar	1145	1200	810	660
Sugar beet pulp	40 bar	1100	1300	1080	850
	55 bar	1100	1310	1150	920

2.2 Baler and Packer Machine for Chopped Forage Feed (Domestic)

The machine manufactured by “Tunkas” company (Izmir-Turkey) is also stationary operated just like the previous machine. The pull-type machine bales and packs chopped forage materials in cylindrical forms and is operated by electric motors.

Machine consists of: drawbar, bunker, baling chamber, bale control unit, hydraulic pressure unit, and wrapping unit. In order to stabilize machine’s operating balance there are 4 hydraulic supporter stands in front and rear. These supporter stands only being used in the operation period. Units on the machine are operated by electric motors which are individually mounted. Baling unit requires 11.5 kW. The main material for that machine was corn plant. The chopped whole-plant corn was baled and wrapped. Test results and some specifications are given in Table 4, 5 and 6.

Tab. 4: Baler and Packer Machine for Chopped Forage Feed dimensions (Tunkas)

Tab. 4: Abmessungen der Ballenpresse und Wickelmaschinen für Häckselgut (Tunkas)

General length (Operative position)	10880 mm
General width (Operative position)	2850 mm
General height (Transport position)	3977 mm
Weight	8.75 t

Tab. 5: Processing time and machine work rate values in different baling pressures of corn material

Tab. 5: Bearbeitungszeit und Arbeitsleistung der Maschinen bei verschiedenen Pressdrücken bei der Verarbeitung von Mais

*Parameter for baling value (Ampere)	Baling Time (min)	Wrapping Time (min)	**Total Work Time (For 3 Bales) (min)	Machine Work Rate (bale h ⁻¹)	***Total Energy Consumption (kW h ⁻¹)
35	2,63	0,82	8,71	21	2,41
37	2,82	0,83	9,24	19	2,77

* Values were chosen according to the materials in the trials.

** Overlapped values were considered.

*** Energy consumption for 3 bales.

Tab. 6: Physical properties of bales

Tab. 6: Physikalische Eigenschaften der Ballen

Corn Parameter for baling value (Ampere)	Bale Features			
	Diameter (mm)	Height (mm)	Weight (kg)	Bulk Density (kg m ⁻³)
35	1070	1213	713	654
37	1066	1206	740	686

2.3 Packing Installation for Chopped Forage Feed (Domestic)

This is the first example of such packing installation in Turkey. It is registered to the owner of "Mofem" agricultural machinery company (Konya-Turkey) with profitable model number of 2006/03164. Installation was constructed as stationary operative. All units in the system are powered by electric energy. The facility has been constructed on 200 m² area and has special roof system for indoor operation. The installation has been designed as continuous processing on the product line. Generally consists of 10 main units (Fig. 1).

The installation constructed in farmers organisation and has a belt type elevator which conveys the loaded material from the bunker to the weighing unit with two different speed level. Elevator operates in the beginning of the loading process with fast rotation controlled by the weighing unit, after the adjusted weight value approached the low speed rotation starts and loading completes.

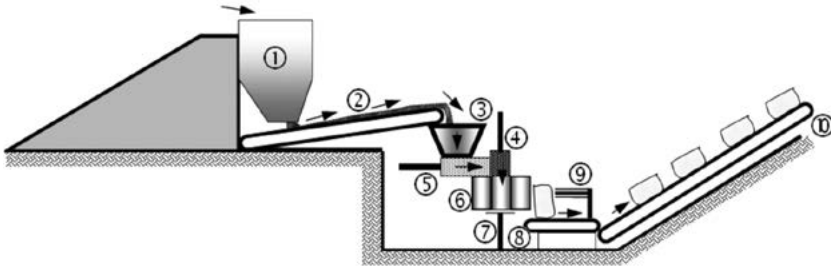


Fig. 1: Schematic view of Pressing-Packing Installation (Mofem)

Abb. 1: Schematische Darstellung der Press- und Verpackungsanlage in der Praxis (Mofem)

In this way it is possible to load the material precisely in to the basket. The basket in the weighing unit are hang on the string gauge sensors. When the adjusted weight value reached the pneumatically operated twin cap under the basket automatically opens and the material falls down to the pusher chamber.

The material fallen inside the pusher chamber is pushed horizontally in to the Pressing chamber. Pusher piston in the pusher chamber acts as a sidewall for the pressing chamber when piston is in the top dead center. The material filling the pressing chamber is pressed by a vertically operating piston (YALCIN and CAKMAK, 2004). The material's compression ratio is adjusted by electronic pressure valve which senses pressure automatically on the hydraulic line. When the adjusted compression level is reached, the platform holding the bag which the material is put into, moves in the direction of pressing piston and that provides a complete filling of the bag. After the bag is filled one laborer puts the bag on the horizontal belt type conveyor and conveys the bag to the thermic bonding unit. The bonding process made by the same laborer with pneumatic cylinders which activates thermic jaws and the bonding takes place on the bag edge in the form of a band. Leak-proof bags are then conveyed with belt type conveyor into the transport vehicles (CAKMAK et al., 2007).

There are four laborers working in the installation. They work in the material loading, controlling units, bonding-forwarding filled bags to conveyors and loading bags for transport. There are some parameters about the installation in Table 7.

Tab. 7: Some parameters for packing installation (Mofem)

Tab. 7: Angaben zu der Verpackungsanlage (Mofem)

Crude product unit bulk density (kg m^{-3})	300
Pressed product unit bulk density (kg m^{-3})	500
Average bag volume (m^3)	0,09
Bag profile	Prismatic
Average bag weight (kg)	45,44
Preparation of a bag (minute)	1,45
Installation work rate (bag h^{-1})	60

3 Result and Discussion

The stationary operating machines are very similar to each other in terms of dimensions and operative features. Imported machine is tractor powered but domestic machine is electrically powered. These machines have similar compression ratios, bulk density of chopped corn increased from 220 kg m⁻³ to 660 kg m⁻³ (almost three times). Again the weight of the bales formed from these machines varied because of the moisture content, the values were 660 kg for chopped corn and 900 kg for beet pulp.

Packing installation is different than machines and presses/packs chopped material. The weight of the bags formed by this installation is 45 kg.

In all machines and installations when the compaction pressure increased, total work ratio increased and hourly work rate decreased.

It is possible to say that such demand on forage feed will increase in the future and subsidies for livestock production will urge such installations to increase. Because such prepared feed has much more quality than other methods and the usage of this machine will be a good reason to produce quality feed. Other features determined are;

- There are some outpouring losses from these machines but that losses depends on machines features.
- In stationary packing installation material is pressed, packed and bonded for anaerobic condition.
- Other machines bales, wraps and packs.
- These machines are powered by tractors, only one machine is powered by electric motors.
- The compression ratio differs between machines but materials form are cylindrical. Only stationary packing installation packs material in prismatic form.
- All machines used are capable of preparing packed forage feed but they have difference in form of the pressed material and capacity.

References

- Anonymous, (2008–2009): Ege University Test Reports. Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery, Bornova-Izmir
- Bilgen, H.; Kaya A.; Akkan S.; (1992): Misir Balya Silaji, Tarimsal Uygulama ve Arastirma Merkezi Yayim Bülteni:12 Izmir
- Bilgen, H.; Yalcin, H.; Özkul, H. Cakmak, B.; Polat, M.; Kilic, A. (2005): "Plastik Rengi, Vakum Uygulaması ve Bekletme Seklinin Paket Misir Silaj Yemi Kalitesi Üzerine Etkileri", E.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt:42 No:2, S.77–85, ISSN:1018-8851, Bornova-Izmir
- Braun, O. (1992): Prüfung von Silofolien, Stretchfolien und Siloschutzgittern. 47. Jahrg. Landtechnik 6–92
- Cakmak, B.; Yalcin, H.; Bilgen, H. (2007): "Bir Prototip Silajlik Kaba Yem Sikistirma ve Paketleme Tesisinin Performans Degerlendirilmesi" Tarim Makinalari Bilimi Dergisi, Cilt 3, Sayi 2, S.97–104, ISSN:1306-0007, Bornova-Izmir

- Wilder Engineering (1987): Silage Bale Wrapping And Handling. Technical Advisory Booklets, No.1/87
- Yalcin, H.; Bilgen, H. (2001): Silaj Yapiminda Mekanizasyon Uygulamalari. Ege Tarimsal Arastirma Enstitüsü, Silo Yemleri-Silaj Hizmetici Eğitim Programi 17-19 Ekim 2001 Menemen-Izmir
- Yalcin, H.; Bilgen, H. (2002): Ticari Silaj Üretim Teknikleri. Ege Tarimsal Arastirma Enstitüsü Yayin No: 106, TAYEK Hayvancilik Grubu 2002 Bilgi Alisveris Toplantisi Bildirileri, Sayfa: 48-58 Menemen-Izmir
- Yalcin, H.; Cakmak, B. (2004): "Bazi Kaba Yemlerin Sikistirilabilirlik Özellikleri" E. Ü. Arastirma Fonu 2001 ZRF 42 Sonuc Raporu, Bornova-Izmir

Untersuchungen zur Erkennung von Lahmheiten bei Milchkühen durch automatische Erfassung der Bewegungsaktivität und des Liegeverhaltens

Investigations on the detection of lameness in dairy cows through automatic recording of movement activity and lying behaviour

MAHER ALSAOD, WOLFGANG BÜSCHER

Institut für Landtechnik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Nußallee 5, 53115 Bonn

Schlüsselwörter: Lahmheit, Milchkühe, Pedometer, Gang

Keywords: lameness; dairy cows; pedometer; gait

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Untersuchung war es, ein automatisches System zur Erkennung von Lahmheiten bei Milchkühen mithilfe von ALT-Pedometern zu entwickeln und zu klären, ob die Bewegungsaktivität sowie das Liegeverhalten als „Frühwarnsystem“ für angehende Lahmheiten verwendet werden kann. In den Untersuchungen wurden 30 laktierende Holstein Milchkühe nach ihrer Gangbewertung mit einem „Numerical Rating System“ (NRS) ≤ 2 ausgewählt. Die Schwellwerte für die Lahmheit wurden für diesen Versuch mit den Werten NRS 3 und 3,5 festgelegt. Ein spezielles Data-Mining-Verfahren stellten dabei die Support Vector Machines (SVM) dar, mit deren Hilfe erstmals ein Klassifikationsmodell für die Erkennung von Lahmheiten erstellt wurde. Die tägliche Aktivität und das Liegeverhalten unterscheiden sich zwischen den Kühen jedoch erheblich. Diese Differenzen waren für jede Kuh signifikant größer als die Veränderung im täglichen Verhalten, verursacht durch Lahmheit, für jede Kuh. Anstatt absoluter Werte; wurden nur die relativen Abweichungen vom normalen Verhalten betrachtet. Es wurde eine Methode entwickelt, bei dem die Daten in einem vergleichbaren Maßstab umgerechnet werden. Die Abweichungen wurden mit negativen und positiven Vorzeichen versehen und mit einer Genauigkeit von 76 % und einer Prädikation von 77 % für alle Merkmale berechnet. Mit den vorgestellten Ergebnissen wird deutlich gezeigt, dass Messungen mit dem ALT-Pedometer das Potenzial haben, Lahmheiten von Kühen auf der Betriebsebene zu erkennen.

Summary

The aim of this study was to develop an automated system to detect lameness in dairy cows by using ALT-pedometer and determine if the movement activity and lying behaviour can be used as “early warning system”. In the investigation 30 lactating Holstein dairy cows were selected based on their gait with a “Numerical Rating System” (NRS ≤ 2). The threshold NRS values for this study (3 and 3.5) were determined for lameness detection. A special data-mining method represents the Support Vector Machines (SVM). Which was created for the first time as classification model for detection lame-

ness. The daily activity and lying behaviour differ between the cows very considerable. Those differences were significantly larger than the change in daily behaviour caused by lameness for each cow. Instead of the absolute values, the deviance from the normal behaviour was regarded. Consequently, a model valid for all cows can be learned as the features are now within the same scale. The deviations happened both with negative and positive sign. These were calculated to an accuracy of 76 % and a precision of 77 % for all the features.

With the presented results it becomes clear that measurements with the ALT pedometer have the potential to detect on farm lameness.

1 Einleitung

Klauenkrankheiten gehören neben Eutererkrankungen und Fruchtbarkeitsstörungen zu der drittgrößten Abgangsursache im Bereich der modernen Milchviehhaltung (JUNGE, 1997). Klauenerkrankungen werden oft erst erkannt, wenn bereits eine erkrankte Gliedmaße entlastet wird und so die Symptome deutlich werden.

Die Lahmheit kann visuell klassifiziert werden, wobei diese Methode durch die Fähigkeiten der Betreuungsperson limitiert wird und relativ zeitaufwendig ist. Weiterhin ist, aufgrund der ständig größer werdenden Milchviehbestände und einer späten Erkennung von Lahmheiten, ein elektronisches Werkzeug zur Entdeckung von Lahmheiten wünschenswert.

Mit dem Ziel, die erforderliche Zeit für die visuelle Tierbeobachtung zu reduzieren und Lahmheiten früher und möglichst präzise erkennen zu können, wurden in den letzten Jahren unterschiedliche technische Hilfsmittel entwickelt. Diese basieren auf der Ermittlung der Bodenauflagekräfte RFD-System (Reaction Force Detection) eines jeden Beines einer Kuh beim Laufen (RAJKONDAWAR et al., 2002), oder durch die Untersuchung der Gewichtsverteilungen im Stand (NEVEUX et al., 2006; PASTELL et al., 2006, RUSHEN et al., 2007). Die Autoren stellten fest, dass sich bei lahmen Kühen die Gewichtsverteilung verändert und sich anhand dieser Veränderung, lahme Kühe erkennen lassen.

Eine weitere sinnvolle Einsatzmöglichkeit zur Erkennung von Lahmheiten ist die Verwendung von Pedometern. MAZRIER et al. (2006) untersuchten die Verwendung von Pedometern einige Tage vor dem Auftreten klinischer Lahmheit bei Milchkühen. ITO et al. (2010) stellten fest, dass das Liegeverhalten zu einem prädikativen Wert bezüglich der Bewegungsstörungen und Lahmheiten führt.

Eine neue Art der Pedometer zur Erfassung von Aktivität und Liegeverhalten, ist das sogenannte ALT-Pedometer (ALT = Aktivität, Liegeverhalten und (Außen-)Temperatur; Pedometer = Schrittzähler). Es wurde bisher vor allem zur Brunsterkennung eingesetzt (BREHME et al., 2008). In den abgeschlossenen Untersuchungen wurden ALT-Pedometer erstmals zur Erkennung von Lahmheiten in der Milchviehhaltung verwendet. Die Arbeitshypothese geht davon aus, dass sich lahme und nicht lahme Gruppen signifikant in den erfassten Parametern unterscheiden. Für die Auswertung der Daten sollten Methoden des maschinellen Lernens eingesetzt werden. Ein spezielles Data-Mining-Verfahren stellt dabei die Support Vector Machines (SVM) dar, mit denen erstmals ein Klassifikationsmodell für die Erkennung von Lahmheiten erstellt wurde.

Abschließend werden die Klassifikationsmodelle bezüglich ihrer Prädiktion von Lahmheiten bewertet. Hieraus kann eine Aussage über den Erfolg zur Erkennung einer Lahmheit mit ALT-Pedometer-Daten getroffen werden.

2 Methodische Vorgehensweise

2.1 Tiere, Haltung und Fütterung

Zwei Versuche wurden auf der „Forschungsstation Frankenforst“ der Universität Bonn mit 60 Milchkühen durchgeführt. Es handelt sich um einen modernen Liegeboxenlaufstall, der mit planbefestigtem Betonboden und Gummimatten auf den Laufgängen vor dem Futtertisch, sowie Wassertränke-, Grund- und Kraftfutterautomaten ausgestattet ist. Des Weiteren ist ein Melkhaus mit einem wissenschaftlichen 2 × 4 Tandem-Melkstand mit Wartebereich angeschlossen. Das Verhältnis Tier zu Fressplatz und Tier zu Liegeboxen beträgt auf dem Betrieb 2 : 1 und 1 : 1. Die Untersuchungen wurden in zwei Perioden durchgeführt. Zwischen Februar 2010 und Mai 2010 in der Stallhaltung und mit Weidegang zwischen Juni 2010 und Oktober 2010.

2.2 Messmethodik

2.2.1 Erkennung von Lahmheiten mittels Aktivitätssensoren

Zur Erfassung der Aktivität und des Liegeverhaltens kamen ALT-Pedometer zum Einsatz, die in Einheit mit der zugehörigen Software und telemetrischen Datenübertragung vom Ingenieurbüro Holz in Falkenhagen entwickelt worden sind. Es werden Daten zur lokomotorischen Aktivität (als elektrische Impulse) und zum Liegeverhalten aufgezeichnet. Über zwei weitere digitale Lagesensoren im Pedometer wird bestimmt, ob das Tier liegt und wenn ja, in welcher Liegeposition. Dabei kann zwischen Liegen in der Seitenlage, sowie Liegen in der Brustbeinlage unterschieden werden. Diese Informationen werden an vier verschiedenen Speicherorten dokumentiert. Speicherort 1 beinhaltet ausschließlich die Schritimpulse. In Speicherort 2 wird die Anzahl der Zeiteinheiten für die Seitenlage (l1) und in Speicherort 3 die Anzahl der Zeiteinheiten für die Brustbeinlage (l2) abgelegt.

Verrechnet man die ermittelten Zeiteinheiten, ergeben sich die Liegezeiten in den verschiedenen Positionen. Eine Zeiteinheit beträgt 15 Sekunden, sodass bei einer liegenden Kuh vier Zeiteinheiten pro Minute durch das Pedometer berechnet und gespeichert werden. Die Umrechnung der Signale in Stunden erfolgt nach Gleichung 1:

$$\text{Liegezeit} \left[\frac{h}{d} \right] = \frac{\sum \text{Zeiteinheiten} \left[\frac{n}{d} \right] \cdot 15}{60 \cdot 60}$$

Der μ -Prozessor des ALT-Pedometers erfasst die Aktivitätsimpulse sowie die Liegezeiteinheiten und summiert diese in einem Messintervall von 1–99 Minuten auf. Das Messintervall kann individuell eingestellt werden und wurde im Versuchszeitraum auf ein 15-Minuten-Messintervall eingestellt. Der vierte Speicherort enthält die Daten zur Umgebungstemperatur. Diese spielte in den Untersuchungen allerdings keine Rolle und

findet deshalb hier keine weitere Beachtung. Die Daten wurden regelmäßig ausgelesen anhand einer Funkantenne, welche die Daten kabellos an einen Laptop übertragen kann. Die Daten werden in einer Datenbank (MS Access) zur individuellen Weiterverarbeitung abgelegt.

2.2.2 Gangbeurteilung

In den Untersuchungen wurden Liegeverhalten und lokomotorische Aktivitäten von 30 Milchkühen langfristig aufgezeichnet. Die Kühe wurden nach ihrem Locomotion Score (LS ≤ 2) ausgewählt. Unmittelbar vor der Anbringung der ALT-Pedometer am Tier wird die Bewegung der Kühe nach der Methode von FLOWER und WEARY 2006 beurteilt. Diese Methode stellt ein fünfstufiges Beurteilungssystem mit einer Benotung von 1 (= gesund) bis 5 (= hochgradig lahm) zur Erfassung von Lahmheit dar. Mit einem „Numerical Rating System“ (NRS) werden 6 spezifische Merkmale des Gangbildes überprüft (Abb. 1). Für die Zwecke der vorliegenden Studie wurden die Kühe kategorisiert (NRS ≤ 2 als gesund, NRS = 3 als mittelgradig lahm, NRS = 3,5 wenn die Kuh über die Anforderungen einer Note 3 lag, aber nicht alle Anforderungen der Note 4 erfüllte, NRS = 4 deutlich lahm). Keine Kuh wurde in dieser Studie als NRS = 5 (extrem lahm) eingestuft. Aufgrund kleiner Datensätze für NRS = 4, wurden die zwei Schwellwerte von NRS (3 und 3,5) zur Erkennung von Lahmheiten verwendet. Die Erhebung fand einmal pro Woche, nach dem Verlassen des Melkstandes statt. Die Gangbewertung einer Kuh dauert etwa eine Minute und wurde immer von der gleichen Person durchgeführt, um die Variabilität zu reduzieren.

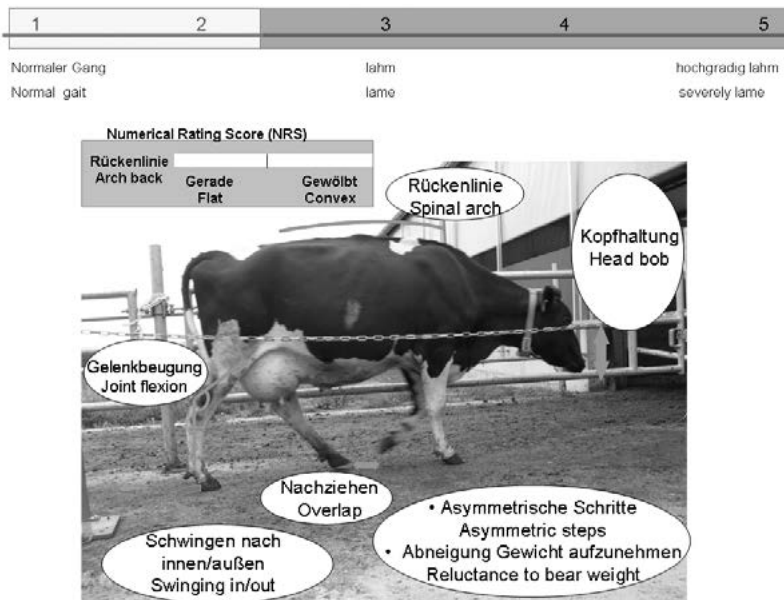


Abb. 1: Gangbeurteilung (Locomotion Score) bei Milchkühen (modifiziert nach FLOWER und WEARY 2006)
 Fig. 1: Gait assessment in dairy cows (locomotion score) (according to FLOWER and WEARY 2006)

2.3 Statistische Analyse

Die Daten aus der ALT-Pedometermessung und Gangbeurteilung wurden mithilfe der Matlab Software eingelesen und konnten somit mit der Anwendung der Klassifikationsverfahren weiter bearbeitet werden.

Für eine Prädiktion wurden Support Vector Maschinen eingesetzt. Hierzu waren die Data-Mining-Methoden und ein maschinelles Lernverfahren notwendig.

Sechs Merkmale wurden bei den Beobachtungen ermittelt. Die beiden Hauptmerkmale sind die Summe der Schritimpulse und die gesamte tägliche Liegezeit. Diese Liegezeit wurde nochmals unterteilt in die Anzahl der Liegeperioden, Dauer der Liegeperioden, maximale und minimale Liegeperioden.

Dabei wird die Anzahl der Tage, die das Intervall der Beobachtungen beschreiben, in einem ersten Schritt auf 14 Tage festgesetzt.

Im Vergleich von lahmen und nicht lahmen Kühen wurden alle Kühe ausgewählt, die in die Kategorie NRS von 3 oder 3,5 eingestuft wurden. Das erste Messintervall wurde auf 14 Tage festgesetzt. Der Datensatz für nicht lahme Kühe wurde von den Kühen erstellt, bei denen an gesunden Tagen ein $NRS \leq 2$ ermittelt wurde. Dies führte zu einer Datenmenge von 549 Untersuchungstagen von elf Kühen, mit einer gleichen Anzahl von „lahmen“ und „nicht lahmen“ Tagen. Die Messintervalle für nicht lahme Kühe wurden auf einen Mittelwert von Null und eine Standardabweichung von Eins normiert. Alle anderen Beobachtungen dieser spezifischen Kuh sind danach normalisiert. Anstatt absoluter Werte wurde nur die Abweichung vom normalen Verhalten betrachtet.

3 Ergebnisse und Diskussion

In dieser Untersuchung wurden Messungen mittels ALT-Pedometer verwendet, um festzustellen, ob durch die Kombination von Aktivität und Liegeverhalten die Lahmheiten bei Milchkühen verbessert erkannt werden können. MÜLLER and SCHRADER (2005) stellten fest, dass Änderungen des Tierverhaltens geeignete Indikatoren für Gesundheits- und Wohlbefindensprobleme der Tiere sind und damit diese als Angabe für ein Frühwarnsystem genutzt werden können.

Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die lokomotorische Aktivität und das Liegeverhalten von gesunden und kranken Kühen stark überlappen. Die Differenz zwischen dem Mittelwert der lahmen und nicht lahmen Tiere ist eher kleiner als die Standardabweichung für die beiden Klassen. Weiterhin reicht es aufgrund des sehr individuellen Verhaltens der Tiere nicht aus, lahme und nicht lahme Kühe durch nur einen Schwellwert zu trennen. Anstatt absoluter Werte wurden die Abweichungen vom normalen Verhalten betrachtet. Um die Abweichungen vom normalen Verhalten zu ermitteln, wurde ein nicht-lineares Modell mit RBF-Kernel verwendet. Die Abweichungen wurden mit negativen und positiven Vorzeichen versehen. Der Einfluss von Lahmheiten auf die tägliche Aktivität kann in beide Richtungen verlaufen. 54 % der lahmen Kühe erzielten einen Anstieg in der täglichen Aktivität im Stall, wobei lahme Kühe auf der Weide sehr häufig eine zurückgehende Aktivität aufweisen. Die gesteigerte Bewegungsaktivität im Stall kann möglicherweise darauf begründen, dass lahme Kühe im Stall zu einer kurzen Schrittlänge neigen (FLOWER et al., 2005, TELEZHENKO und BERGSTEN, 2005) und somit

mehr Schritte benötigen, um die zurückzulegende Strecke abzudecken. Obwohl die Alt-Pedometer Daten zeigten, dass bei lahmen Kühen die „Dauer der Liegeperioden“ länger war, wurde nur eine gering erhöhte „Anzahl der Liegeperioden“ zwischen lahmen und nicht lahmen Kühen beobachtet.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von COOK et al. (2004), neigen lahme Kühe zu längeren Liegezeiten als nicht lahme Kühe. Diese Ergebnisse stützen die allgemeine Feststellung von (SINGH et al., 1993; GALINDO und BROOM, 2002; JUAREZ et al., 2003, WALKER et al., 2008), die einen Anstieg in der täglichen Liegezeit der lahmen Kühe im Vergleich zu nicht lahmen Kühen festgestellt haben, um die schmerzenden Gliedmaßen zu schonen. Die minimale Dauer der Liegeperiode war das schwächste Merkmal und zeigte kaum eine Abweichung zwischen lahmen und nicht lahmen Kühen.

Abschließend ist zu bemerken, dass die Kombination mehrerer Merkmale von Aktivität und Liegeverhalten mit den Methoden des maschinellen Lernens wichtig ist und mit einer Genauigkeit von 76 % und einer Prädiktion von 77 % für alle Merkmale berechnet wurde.

4 Fazit

Wir konnten durch die Messungen der Aktivität und des Liegeverhaltens mit dem ALT-Pedometer ein Modell für die Klassifizierung der Lahmheit erstellen, das eine hohe Genauigkeit aufweist. Es konnte festgestellt werden, dass die Messungen der Aktivität und des Liegeverhaltens der Kühe ein wertvolles Hilfsmittel in der Lahmheitserkennung ist. Die Beobachtung der relativen Abweichungen vom normalen Verhalten ergab eine höhere Genauigkeit als Entscheidungsmodelle mit absoluten Grenzwerten. Die Analyse der Daten aller erfassten Merkmale als nicht-lineares Klassifikationsverfahren, wie Support Vector Machines, ist eine Voraussetzung, um gute Ergebnisse zu erreichen. Diese Erkenntnisse können zu einem elektronischen Management Werkzeug zur „On-Farm Lahmheit Erkennung“ beitragen.

Literatur

- Brehme, U.; Stollberg, U.; Holz, R.; Schleusener, T. (2008): ALT-pedometer – A new sensor-aided measurement system for improvement in oestrus detection. *Comput. Electron. Agr.* 62, 73–80
- Cook, N. B.; Bennett, T. B.; Nordlund, K. V. (2004): Effect of free stall surface on daily activity patterns in dairy cows with relevance to lameness prevalence. *J. Dairy Sci.* 87, 2912–2922
- Flower, F. C.; Sanderson, D. J.; Weary, D. M. (2005): Hoof pathologies influence kinematic measures of dairy cow gait. *J. Dairy Sci.* 88, 3166–3173
- Flower, F. C.; Weary, D. M. (2006): Effect of hoof pathologies on subjective assessments of dairy cow gait. *J. Dairy Sci.* 89, 139–146
- Galindo, F.; Broom, D. M. (2002): The effects of lameness on social and individual behavior of dairy cows. *J. Applied Anim. Welfare Sci.* 5, 193–201

- Ito, K.; v. Keyserlingk, M. A. G.; LeBlanc, S. J.; Weary, D. M. (2010): Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93, 3553–3560
- Juarez, S. T.; Robinson, P. H.; DePeters, E. J.; Price, E. O. (2003): Impact of lameness on behavior and productivity of lactating Holstein cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83, 1–14
- Junge, W. (1997): Einflußfaktoren auf die Klauengesundheit von Milchkühen. *Züchtungskunde.* 69, 122–129
- Mazrier, H.; Tal, S.; Aizinbud, E.; Bargai, U. (2006): A field investigation of the use of the pedometer for the early detection of lameness in cattle. *Can. Vet. J.* 47: 883–886
- Müller, R.; Schrader, L. (2005): Individual consistency of dairy cows' activity in their home pen. *J. Dairy Sci.* 88, 171–175
- Neveux, S.; Weary, D. M.; Rushen, J. von Keyserlingk, M. A. G.; de Passillé, A. M. (2006): Hoof discomfort changes how dairy cattle distribute their body weight. *J. Dairy Sci.* 89, 2503–2509
- Pastell, M.; Tamkko, H.; Gröhn, H.; Hautala, M.; Poikalainen, V.; Praks, J.; Veermäe, I.; Kujala, M.; Ahokas, J. (2006): Assessing cows' welfare: Weighing the cow in a milking robot. *Biosystems Eng.* 93, 81–87
- Rajkondawar, P. G.; Tasch, U.; Lefcourt, A. M.; Erez, B.; Dyer, R. M.; Varner, M. A. (2002): A system for identifying lameness in dairy cattle. *Appl. Eng. Agric.* 18, 87–96
- Rushen, J.; Pombourcq, E.; de Passillé, A. M. (2007): Validation of two measures of lameness in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 106, 173–177
- Singh, S. S.; Ward, W. R.; Lautenbach, K.; Murray, R. D. (1993): Behaviour of lame and normal dairy cows in cubicles and in a straw yard. *Vet. Rec.* 133, 204–208
- Telezhenko, E.; Bergsten, C. (2005): Influence of floor type on the locomotion of dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 93, 183–197
- Walker, S. L.; Smith, R. F.; Routly, J. E.; Jones, D. N.; Morris, M. J.; Dobson, H., (2008): Lameness, activity time-budgets, and estrus expression in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 91, 4552–4559

Automatische Gesundheitsüberwachung bei Milchkühen mittels Infrarot-Thermographie

Automatic health monitoring for eairy cows by infrared thermography

ULRIKE FRANZE¹, STEFFI GEIDEL¹, ULRIKE HEYDE¹, ALEXANDER SCHROTH¹, TOM WIRTHGEN², STEPHAN ZIPSER²

¹ Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege, Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden

² Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI), Zeunerstraße 38, 01069 Dresden

Schlüsselwörter: Gesundheitsüberwachung, Klauen, Infrarot, Milchkühe, Mastitis, Thermographie
Keywords: *automatic health monitoring, claw, dairy, infrared, mastitis, thermography*

Zusammenfassung

Die Infrarot(IR)-Thermographie zur automatischen Gesundheitsüberwachung wurde auf zwei landwirtschaftlichen Betrieben an insgesamt 576 Milchkühen untersucht. Dafür wurde eine IR-Kamera am Melkstand installiert und Wärmebilder von den Tieren zu jeder Melkzeit aufgenommen. Die Untersuchungen ergaben, dass die mittels IR-Thermographie gemessene Körperoberflächentemperatur hauptsächlich durch die Umgebungstemperatur sowie die Tageszeit beeinflusst wird. Es konnte kein Zusammenhang zwischen der IR-Temperatur an der Schenkelfläche und der Rektaltemperatur sowie zwischen der IR-Temperatur der Euterviertel und der viertelspezifischen elektrischen Leitfähigkeit im Vorgemelk gefunden werden. Dennoch zeigen Viertel mit Mastitis und Viertel mit normaler Sekretion signifikant unterschiedliche mittlere IR-Temperaturen. Erkrankte Euterviertel sowie Neuerkrankungen an den Klauen können anhand von routinemäßigen IR-Aufnahmen mit Sensitivitäten von ca. 30 % und Spezifitäten von ca. 70 % detektiert werden.

Summary

Infrared thermography for automatic health monitoring was investigated at two farms using a total of 576 dairy cows. Therefore an infrared camera was installed at the milking parlour and infrared images were taken at every milking. Investigations showed that surface temperatures measured by infrared thermography are mainly influenced by ambient temperature and daytime. There was no relation for infrared temperature at lower leg area and rectal temperature as well as for infrared temperature of udder quarters and quarter individual electrical conductivity. But diseased quarters show significantly different infrared temperatures than healthy quarters. Diseased quarters and new incidences of claws can be detected by routinely infrared images with sensitivities of around 30 % and specificities of around 70 %.

1 Einleitung

Mit Intensivierung der Milchproduktion und steigender Herdengröße werden an das Betriebsmanagement immer höhere Anforderungen gestellt. Im Zuge dieses Trends werden zunehmend automatisierte Systeme in der Praxis eingesetzt. Das Teilproblem der automatischen Gesundheitsüberwachung ist dabei noch nicht vollständig gelöst. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes VIONA (Veterinäres Infrarotbasiertes Online-Analysesystem; www.viona-system.net) soll das Potenzial eines automatischen Gesundheitsüberwachungssystems für Milchkühe überprüft werden. Das Prinzip der IR-Thermographie beruht auf der nicht invasiven Messung der Körperoberflächentemperatur. Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, ob Temperaturveränderungen der Körperoberfläche infolge von Erkrankungen, vornehmlich an Euter und Klauen, durch die routinemäßige IR-Thermographie erkennbar sind.

Erste Ansätze dazu liefern die Untersuchungen von SCHAEFER et al. (2004), COLAK et al. (2008), HOVINEN et al. (2008), in denen deutlich wird, dass die IR-Thermographie sensibel genug ist, um Veränderungen der Eutervierteltemperatur mit unterschiedlicher Schwere der Milchdrüsenentzündung zu detektieren. Zwischen der Oberflächentemperatur eines Euterviertels und der Rektaltemperatur konnte bislang kein Zusammenhang abgeleitet werden (COLAK et al., 2008). In Bezug auf die Klauengesundheit stellten NIKKAH et al. (2004) erhöhte Kronsaumtemperaturen beim Auftreten von Druckstellen fest.

2 Material und Methoden

Die Untersuchung erfolgte an Milchkühen der Rasse Holstein-Friesian Schwarzbunt in zwei Produktionsbetrieben (Betrieb A und Betrieb B) im Raum Sachsen.

Das Melken erfolgte jeweils in einem Melkkarussell (Side-by-Side). Die IR-Kamera wurde für die Untersuchung in den Melkstand integriert und die Tiere zu allen Melkzeiten thermographiert (Abb. 1). So konnte neben einem konstanten Abstand zwischen Tier und IR-Kamera auch eine annähernd gleichbleibende Tierposition gewährleistet werden.

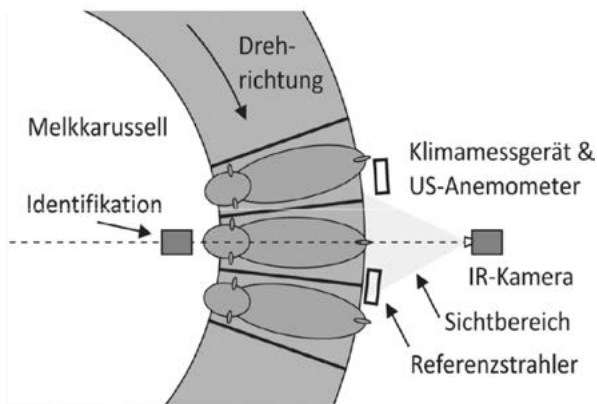


Abb. 1: Übersicht zur Integration der IR-Kamera in den Melkstand
 Fig. 1: Measuring configuration at the rotary parlor subtitle

Die verwendete IR-Kamera war eine PYROVIEW 640L compact der Firma DIAS Infrared GmbH. Diese IR-Kamera besitzt eine Messunsicherheit von 2 K. Durch den Einsatz des Referenzstrahlers konnte die Messunsicherheit im Versuch auf 0,5 K reduziert werden (WIRTHGEN et al., 2011a). Dieser wurde gegenüber der Kameraeinheit am Melkstand angebracht. Parallel zu den IR-Aufnahmen wurden die Umgebungsbedingungen erfasst. Dazu dienten ein Klimamessgerät (Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck) sowie ein Ultraschallanemometer (Windgeschwindigkeit), beide waren in unmittelbarer Nähe der Kamera am Melkstand befestigt.

Anfangs konnte die Auswertung der aufgenommenen IR-Bilder (Betrieb A) durch manuelles Einzeichnen der relevanten Körperoberflächen (hinteres Euterviertel links und rechts, Klaue hinten links und rechts, Schenkelfläche; Abb. 2) mithilfe einer speziell angefertigten Software umgesetzt werden. Daraus konnten für jede einzelne dieser Körperoberflächen 21 IR-Kenngrößen generiert werden. Im Betrieb B erfolgten die Kennzeichnung der relevanten Körperoberflächen und die Berechnung der IR-Kenngrößen mit einer neu entwickelten automatischen Bildverarbeitung (WIRTHGEN et al., 2011b). In der folgenden Ergebnisdarstellung wurden die IR-Kenngrößen Temperaturmittelwert (IR-TempMW) und Temperaturmaximum (IR-TempMax) ausgewählt, da diese sich während der Untersuchungen als besonders aussagekräftig erwiesen. Zur Bestimmung des Allgemeinzustandes der Milchkuh (Fieber) wird die Schenkelfläche ausgewählt, weil davon ausgegangen wird, dass diese Hautoberfläche nicht von Entzündungsprozessen im Euter oder Erkrankungen der Klauen beeinflusst wird, aber dennoch zur Bestimmung des Allgemeinzustandes der Milchkuh (Fieber) herangezogen werden kann.

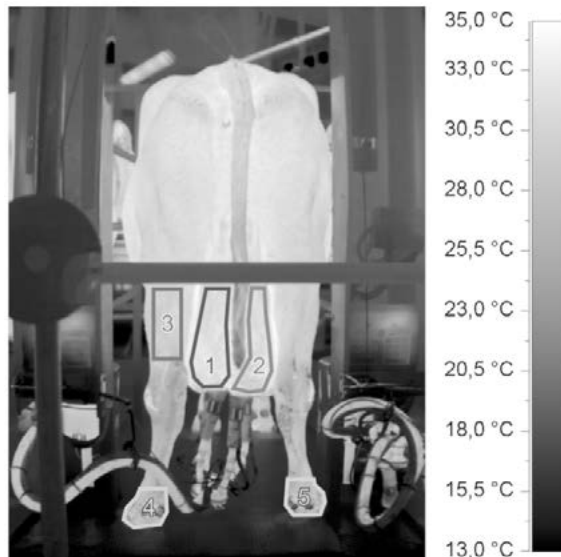


Abb. 2: IR-Aufnahme mit eingezeichneten Messflächen (1 Euter links; 2 Euter rechts; 3 Schenkelfläche; 4 Klaue links; 5 Klaue rechts)

Fig. 2: Thermographic image with marked surface areas (1 left rear quarter; 2 right rear quarter; 3 lower leg area; 4 left rear claw; 5 right rear claw)

Im Betrieb A (ca. 1900 Kühe) erfolgte das Melken zweimal täglich mit einem Melkintervall von 12 Stunden. Schwerpunkt der 18-tägigen Untersuchung war die Evaluierung möglicher Einflussfaktoren auf die Messung der Oberflächentemperatur mittels der IR-Thermographie. Die IR-Aufnahmen wurden jeweils zur Morgen- und Abendmelkzeit realisiert. Während des Untersuchungszeitraumes lag die Umgebungstemperatur zwischen 12,8 und 23,3 °C. Parallel wurde die Verschmutzung der Tiere am Euter nach einem vierstufigen Schlüssel (von 1 = sauber bis 4 = stark verschmutzt) nach FAYE und BARNOUIN (1985) bonitiert. Insgesamt wurden Daten von 317 Kühen erfasst.

Im Betrieb B (ca. 1600 Kühe) wurden die Tiere dreimal täglich gemolken. Die Aufnahmen der IR-Kamera über einen Zeitraum von 25 Tagen erfolgten ausschließlich zur Morgenmelkzeit. Zusätzlich wurden tierindividuelle Parameter erfasst, die den Gesundheitszustand des Tieres widerspiegeln. Die Messung der Rektaltemperatur diente zur Einschätzung des Allgemeinzustandes der Kühe. Die Eutergesundheit wurde anhand der viertelindividuellen elektrischen Leitfähigkeit der Milch im Vorgemelk (Mastitissensor SMS 4010, IFU GmbH) sowie der somatischen Zellzahl in Verbindung mit der zytobakteriologischen Untersuchung von Viertelgemelksproben beurteilt (Mastitis-Kategorisierung nach Deutscher Veterinärmedizinischer Gesellschaft (DVG); (HAMANN u. FEHLINGS, 2002; Tab. 1).

Tab. 1: Beurteilung zytologisch-mikrobiologischen Befunde im Rahmen der Mastitis-Kategorisierung nach DVG (HAMANN u. FEHLINGS 2002)

Tab. 1: Mastitis categories according to DVG (HAMANN u. FEHLINGS 2002)

Zellgehalt pro ml Milch	Euterpathogene Mikroorganismen	
	nicht nachgewiesen	nachgewiesen
< 100 000	normale Sekretion	latente Infektion
> 100 000	unspezifische Mastitis	Mastitis

Die Einschätzung der Klauengesundheit erfolgte anhand der Befundung durch den Klauenpfleger und den Tierarzt. Die Befundung wurde für jedes Tier mindestens zweimalig vorgenommen. Zur Auswertung wurden lediglich Neuerkrankungen herangezogen. Es konnten Daten von 197 Kühen bezüglich der Eutergesundheit und des Allgemeinzustandes (Fieber) sowie Daten von 136 Kühen hinsichtlich der Klauengesundheit ermittelt werden.

Zur statistischen Auswertung wurden Korrelationen und Regressionen berechnet sowie Mittelwertvergleiche durchgeführt (SPSS Statistics 17.0). Die Mittelwertanalyse erfolgte anhand des doppelten t-Tests (für zwei unabhängige Stichproben). Mit dem Hinblick auf die praktische Anwendung der IR-Thermographie zur Identifizierung kranker Tiere wurde die diagnostische Eignung durch Berechnung von Sensitivitäten und Spezifitäten überprüft.

3 Ergebnisse

3.1 Betrieb A

Bei der Betrachtung der Einflussfaktoren konnte im Betrieb A nachgewiesen werden, dass die Umgebungstemperatur den größten Einfluss darstellte ($r = 0,62$; $R^2 = 0,38$). Folglich muss eine Korrektur der IR-Temperaturen um die Umgebungstemperatur vorgenommen werden. Die Korrektur resultiert für jede IR-Kenngröße der relevanten Körperoberflächen aus der durchgeführten Regressionsanalyse. Die Korrektur der IR-Kenngröße IR-TempMax der linken Euterfläche wurde exemplarisch durch folgende Regressionsgleichung beschrieben (1):

$$f(x) = y = 25,04 + 0,47x \quad (1)$$

Die aktuell gemessene Umgebungstemperatur (x) wurde in die Regressionsgleichung eingesetzt. Aus der anschließenden Subtraktion des berechneten y -Wertes von der aktuell gemessenen IR-Temperatur resultierte die korrigierte IR-Temperatur. Im Folgenden sind die Ergebnisse mit den um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Temperaturen (IR-TempMW_korr, IR-TempMax_korr) dargestellt.

Im Betrieb A konnte zudem festgestellt werden, dass zwischen der Messung der IR-Temperatur und der Tageszeit eine Abhängigkeit besteht. Dabei konnten jeweils höhere IR-Temperaturen zum abendlichen Messzeitpunkt im Vergleich zur morgendlichen Messung beobachtet werden. Für die IR-Kenngrößen ergab sich zwischen der Morgen- und Abendmelkzeit eine Temperaturabweichung von bis zu 0,4 K ($p < 0,01$). Unter Beachtung der Ergebnisse der untersuchten Einflussgrößen im Betrieb A wurde die Messung im Betrieb B auf einen Messzeitpunkt beschränkt.

3.2 Betrieb B

Die Untersuchung im Betrieb B umfasste die Beurteilung des Gesundheitszustandes der Tiere mit dem Schwerpunkt der Früherkennung von Euterentzündungen, Fieber und

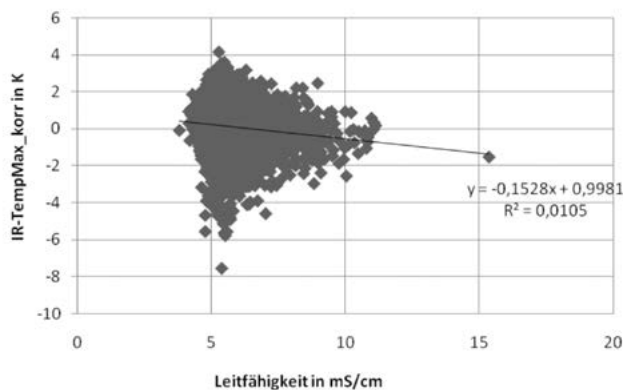


Abb. 3: Streudiagramm IR-Temperatur (IR-TempMax_korr) der linken und rechten Euterfläche und der dazugehörigen Leitfähigkeit ($n = 9036$)

Fig. 3: Relation between IR-TempMax_korr rear udder quarters and electrical conductivity ($n = 9036$)

Klauenerkrankungen mittels der IR-Thermographie. Zunächst wurde die Beziehung einzelner Referenzmethoden (elektrische Leitfähigkeit des Vorgemelks, Rektaltemperatur) zur IR-Temperatur geklärt. Zwischen der täglich gemessenen IR-Temperatur (Schenkelfläche, linke und rechte Euterfläche) und der täglich erfassten Rektaltemperatur konnte nur eine sehr geringe Korrelation ($r = 0,15 \dots 0,20$; $R^2 = 0,02 \dots 0,04$) nachgewiesen werden (Abb. 3).

Die Korrelations- und Regressionsanalyse zwischen der täglich gemessenen IR-Temperatur (IR-TempMax_korr) der beiden hinteren Eutervierviertel (links und rechts) und der täglich ermittelten elektrischen Leitfähigkeit dieser Eutervierviertel ergab lediglich einen schwachen Zusammenhang ($r = -0,10$; $R^2 = 0,01$; Abb. 3).

Der Mittelwertvergleich zwischen Euterviervierteln, die eine Mastitis aufwiesen, und den gesunden Euterviervierteln zeigte signifikant niedrigere korrigierte IR-Temperaturen bei den erkrankten Vierteln (0,18 K vs. 0,37 K; $p < 0,10$, t-Test).

Für den praxisrelevanten Einsatz der IR-Thermographie zur frühzeitigen Detektion euterkranker Tiere wurden weiterführend verschiedene Algorithmen erstellt und anhand ihrer Sensitivität und Spezifität bewertet. Der diagnostische Test wurde mithilfe der Ergebnisse der zytobakteriologischen Untersuchung in Abhängigkeit von der IR-Temperatur für die Kategorien latente Infektion, unspezifische Mastitis und Mastitis durchgeführt.

Wird solch ein Algorithmus zur Detektion des Einzeltieres im Verhältnis zu allen anderen Versuchstieren angewendet, so ist deren Sensitivität sehr gering. In Tabelle 2 ist dazu folgender Algorithmus dargestellt: Die tagaktuell gemessene IR-Temperatur (IR-TempMax_korr) eines Tieres ist größer als die tagaktuelle mittlere IR-TempMax_korr aller Tiere und deren mittlere Varianz. Die geringen Sensitivitäten lassen darauf schließen, dass jedes Tier sein eigenes Temperaturniveau besitzt. Dies führte in der Algorithmensuche zu einer einzeltierspezifischen Betrachtung. Dem oben beschriebenen Algorithmus ist in der Tabelle 2 ein tierindividueller Algorithmus gegenübergestellt: Die Differenz der tagaktuell gemessenen IR-TempMax_korr zum Vortag weicht von deren zweifacher Standardabweichung der zurückliegenden drei Tage ab, sodass diese Kuh als auffällig identifiziert wird und auf der Alarmliste erscheint.

Tab. 2: Sensitivitäten und Spezifitäten ausgewählter Algorithmen
Tab. 2: Sensitivities and specificities of different algorithms

Kategorie	Gruppenbetrachtung IR-TempMax_korr > TiereMW + TiereVar		Einzeltierbetrachtung Differenz IR-TempMax_korr heute- gestern > 2 x 3 TageSD	
	Sensitivität	Spezifität	Sensitivität	Spezifität
Latente Infektion	10,00 %	79,79 %	35,80 %	68,62 %
Unspezifische Mastitis	13,01 %	79,79 %	31,67 %	68,62 %
Mastitis	19,86 %	79,79 %	30,08 %	68,62 %

Zur Detektion neu erkrankter Klauen wurden ähnlich der Identifizierung erkrankter Eutervierviertel Algorithmen dem diagnostischen Test unterzogen. Die Auswertung bezieht sich auf folgenden Algorithmus: Die tagaktuell gemessene IR-TempMax_korr einer der

beiden Klauen war an mindestens drei Tagen in der zurückliegenden Woche 2 K wärmer als die andere Klaue. Für dieses Prüfschema konnte eine Sensitivität von 29 % und eine Spezifität von 74 % errechnet werden. Damit können die an Klauen auftretenden Neuerkrankungen mit ähnlicher Sicherheit erkannt werden wie die Entzündungen am Euter.

4 Schlussfolgerungen

Mit der Untersuchungsreihe im Betrieb A konnten wichtige Einflussfaktoren auf die Messung der Körperoberflächentemperatur mittels IR-Thermographie bestimmt werden. Den größten Einfluss stellte die Umgebungstemperatur dar. Folglich muss eine Korrektur der IR-Temperatur um diesen Umweltfaktor vorgenommen werden. Als zweite wichtige Einflussgröße ist die Tageszeit anzuführen. Anhand der IR-Aufnahmen zu zwei unterschiedlichen Messzeitpunkten konnte im Tagesverlauf der zirkadiane Rhythmus der Milchkuh festgestellt werden. Entsprechend sollte in einem automatischen Gesundheitsüberwachungssystem basierend auf IR-Thermographie die Messung auf nur einen Tageszeitpunkt (z. B. jeweils zur Morgenmelkzeit) beschränkt werden.

Die Ergebnisse aus der Untersuchungsreihe im Betrieb B zeigten anhand des Mittelwertvergleichs einerseits auf, dass die mittlere IR-Temperatur von Eutervierteln mit einer Mastitis und von gesunden Eutervierteln sich signifikant voneinander unterschieden ($p < 0,10$; t-Test). Andererseits konnte zwischen der viertelspezifischen elektrischen Leitfähigkeit und der dazugehörigen IR-Temperatur der hinteren Euterviertel kein statistischer Zusammenhang nachgewiesen werden. Ebenso wurde zwischen der Rektaltemperatur und der IR-Temperatur der Schenkelfläche keine Korrelation festgestellt. Als Ursache dafür wird bei Auftreten einer Euterentzündung bzw. fieberhaften Erkrankung eine zeitlich verschobene Reaktion dieser Referenzparameter vermutet. So könnte sich z. B. eine Abweichung der Euteroberflächentemperatur mit dem Hinweis auf eine Mastitis zeitlich eher äußern als der Anstieg der viertelspezifischen elektrischen Leitfähigkeit. Weiterhin sollten die IR-Aufnahmen einzeltierspezifisch ausgewertet werden, insbesondere, weil jedes Tier sein individuelles Temperaturniveau besitzt. Mit der Anwendung eines einzeltierspezifischen Algorithmus konnten auf diese Weise für die IR-Kenngröße IR_TempMax_korr Entzündungen der hinteren Euterviertel mit einer Sensitivität von ca 30 % und einer Spezifität von ca. 70 % detektiert werden. Eine ähnlich hohe Sensitivität und Spezifität wurde für Neuerkrankungen an einer der hinteren Klauen erzielt.

Literatur

- Colak, A.; Polat, B.; Okumus, Z.; Kaya, M.; Yanmaz, L.E.; Hayirli A. (2008): Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows, *J. Dairy Sci.* 2008. 91:4244-4248. doi:10.3168/jds.2008-1258
- Faye, B.; Barnouin, J. (1985): Objectivation de la propreté des vaches laitières et desstabilisations à l'indice de propreté. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA*, 59, 61-67
- Hamann, J.; Fehlings, K. (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. *Deutsch Veterinärmedizinische Gesellschaft (DVG) e.V.*, 4. Aufl., Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Gießen

- Hovinen, M.; Siivonen, J.; Taponen, S.; Hänninen, L.; Pastell, M.; Aisla, A.-M.; Pyörälä, S. (2008): Detection of Clinical Mastitis with the Help of a Thermal Camera, *J. Dairy Sci.* 2008, 91, 4592-4598. doi:10.3168/jds.2008-1218
- Schaefer, A. L.; Scott, S. L.; Lacasse, P.; Tong, A. K. W. (2004): Early detection of inflammation and infection using infrared thermography. United States Patent Publication Number: US 2004/019269 AA
- Wirthgen, T.; Zipser, S.; Geidel, S.; Franze, U. (2011a): Precise IR-Based Temperature Measuring - a Case Study for the Automatic Health Monitoring of Dairy Cows. In: *SENSOR+TEST Conference – IRS2 2011*, (accepted paper)
- Wirthgen, T.; Zipser, S.; Franze, U.; Geidel, S.; Dietel, F. Alary, T. (2011b): Automatic Segmentation of Veterinary Infrared Images with the Active Shape Approach, A. Heyden and F. Kahl (Eds.): *SCIA 2011, LNCS 6688*, 435-446

Entwicklung und Bewertung eines automatischen optischen Sensorsystems zur Körperkonditionsüberwachung bei Milchkühen

Development and validation of an automatic optical system for the control of the body condition score of dairy cows

J. SALAU, W. JUNGE, A. WEBER¹, U. BAUER, J. HARMS², O. SUHR³

¹ Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Universität Kiel, Hermann-Rodewald-Straße 6, 24118 Kiel

² Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Prof.-Dürrwaechter-Platz 2, 85586 Poing

³ GEA Farm Technologies, Siemensstraße 25–27, 59199 Bönen, Deutschland

Schlüsselwörter: BCS, TOF, Bildverarbeitung

Keywords: body condition score, TOF, image processing

Zusammenfassung

Untersuchungen zum manuellen Body Condition Scoring haben gezeigt, dass die erhobenen Werte vom Beurteilenden abhängen. Gewünscht ist eine objektive automatische Überwachung der Körperkondition von Milchkühen mittels der Aufnahmen einer Time-Of-Flight Kamera.

Die Bilder müssen sortiert und segmentiert werden. Wirbelsäule, Schwanzansatz, Sitzbeinhöcker und Hüfthöcker müssen im Bild markiert werden. Anhand von Schnitten durch die Kuh (Hüfte-Hüfte, Hüfte-Sitzbeinhöcker) und Untersuchungen der Oberfläche an prominenten Knochenvorsprüngen sollen anschließend Kennzahlen für die Körperkondition des Tieres abgeleitet werden.

Summary

Studies on the body condition classification have shown, that the results essentially depend on the person who classifies. The aim is a more objective judgement of the cows body condition using digital image processing on the images of a Time-Of-Flight-camera.

First the images have to be sorted and segmented. Backbone, tail, hips, and ischial tuberosities have to be detected automatically. For revealing insight into the cows body condition sections between the cows hips or hip and ischial tuberosity could be extracted from the image, and the surface could digitally be examined at some protruding knucklebones.

1 Überwachung der Körperkondition

Zu Beginn der Laktation befindet sich die Milchkuh im Energiedefizit, welches zunächst zur Mobilisation von Körperfettreserven und beim Überschreiten gewisser Grenzen zum Abbau von Körperprotein führt. Um diese negative Energiebilanz zu kompensieren sowie Tiergesundheit und hohe Milchleistung zu gewährleisten, sollte der Körperkonditionsverlauf des Tieres während der Laktation systematisch überwacht und gesteuert werden.

1.1 Body Condition Scoring

Unter dem Body Condition Score (kurz: BCS) wird eine Abschätzung des Verhältnisses von Muskelmasse zu Fett verstanden [3]. Der BCS wird durch Begutachtung geeigneter Exterieurmerkmale des Tieres bestimmt (Body Condition Scoring). Die Beurteilung erfolgt anhand der Fettauflage auf Hüft- und Sitzbeinhöckern sowie des Schwanzansatzes und anhand der Verbindungslinien zwischen diesen Knochen. Aber auch Schulterblatt, Dornfortsätze und Rippen werden hierzu herangezogen. Die Tiere werden in Benotungsskalen eingestuft, von denen die gebräuchlichste von 1 (sehr mager) bis 5 (sehr fett) reicht [1], [2].

1.2 Lebendmassewägung

Die Lebendmassewägung wird durch den Füllungsstand des Magen-Darm-Traktes sowie durch Trächtigkeit beeinflusst. Des Weiteren verändern sich während des Wachstums die Anteile von Protein, Fett und Wasser an der Lebendmasse, wodurch keine genaue Schätzung des Energiegehalts möglich ist. Zur Erfassung von Änderungen der Körperkondition ist die Lebendmasse daher weniger gut geeignet als der BCS.

1.3 Messung der Rückenfettdicke (RFD)

Als RFD-Wert wird die größte im Rückenbereich vorkommende Dicke der Fettauflage in Millimetern bezeichnet. Der RFD-Wert ist sowohl zu dem relativen Körperfettgehalt des Tieres als auch dessen BCS signifikant korreliert und somit für eine Überwachung der Körperkondition gut geeignet.

Es existieren allerdings verschiedene technische Umsetzungen zur RFD-Messung, und der Messwert variiert mit der eingesetzten Technik. Da die Kühe zur Messung fixiert werden müssen, ist diese Überwachungsmethode sehr zeitaufwendig.

2 Automatisiertes Body Condition Scoring

2.1 Projektziel und Projektpartner

Ziel dieses Projektes ist eine automatische Überwachung der Körperkondition von Milchkühen durch den Einsatz von 3D-Sensortechnik. Digitale Messungen ermöglichen objektivere Beurteilungen der Tiere als durch den Menschen möglich, und es entfällt das fehleranfällige manuelle Übertragen der Daten. Um den Arbeitsaufwand gering zu halten wird angestrebt, die Tiere zur BCS-Erhebung nicht unnötig fixieren zu müssen. Das zu entwickelnde System soll eine kontinuierliche Überwachung der Körperkondition

gewährleisten, um direkt auf Abweichungen vom gewünschten BCS-Verlauf reagieren und damit die Fütterung optimieren zu können. Projektpartner sind die Institute für Landtechnik und Tierhaltung sowie für Tierernährung und Futterwirtschaft der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub, GEA Farm Technologies GmbH und das Institut für Tierzucht und Tierhaltung der Universität Kiel.

2.2 Eingesetzte Technik und Datenerhebung

Time-Of-Flight Technologie

Die Automatisierung erfolgt unter Verwendung einer Time-Of-Flight (TOF) Kamera. Das im Projekt verwendete Kameramodell sendet mit 20 MHz modulierte infrarotes Licht aus, welches vom Objekt reflektiert wird. Aus der Phasenverschiebung wird die Entfernung des Objekts vom Sensor berechnet. Die Kamera ist auf eine Reichweite von 0,8 m bis 5 m Entfernung vom Sensor kalibriert und kann ungefähr 30 Aufnahmen pro Sekunde produzieren. Die Bilder werden als Matrizen gespeichert, deren Einträge die Entfernungen zur Kamera in Metern sind. Auf diese Weise entstehen dreidimensionale Darstellungen des Kuhrückens (Abb. 1).

Versuchsaufbau und Datenerhebung

Auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm, Bimöhlen der CAU befindet sich eine Milchvieherde von ungefähr 150 HF Kühen. Die Kamera ist in 2,55 m Höhe über der Kraftfutterabwurfbox installiert und fotografiert senkrecht nach unten (Abb.1). Die Kühe stehen während der Aufzeichnung relativ still und werden durch die RFID-Erkennung identifiziert. Die Bilder werden nach Respondernummern sortiert gespeichert.

Es finden regelmäßige, mehrtägige Aufzeichnungen statt. Parallel dazu werden alle 4 Wochen BCS, wöchentlich die RFD bestimmt, sowie regelmäßige Lebendmassewägungen vorgenommen und Futteraufnahme, Milchleistung und Milchinhaltsstoffe erfasst.

Um den Einfluss der Rasse zu untersuchen, wurden in Grub im Zeitraum vom 30. März 2010 bis zum 20. April 2011 parallele Untersuchungen an Kühen der Rasse Fleckvieh durchgeführt. Gezielte Fütterungsversuche sollten Tiere möglichst unterschiedlicher

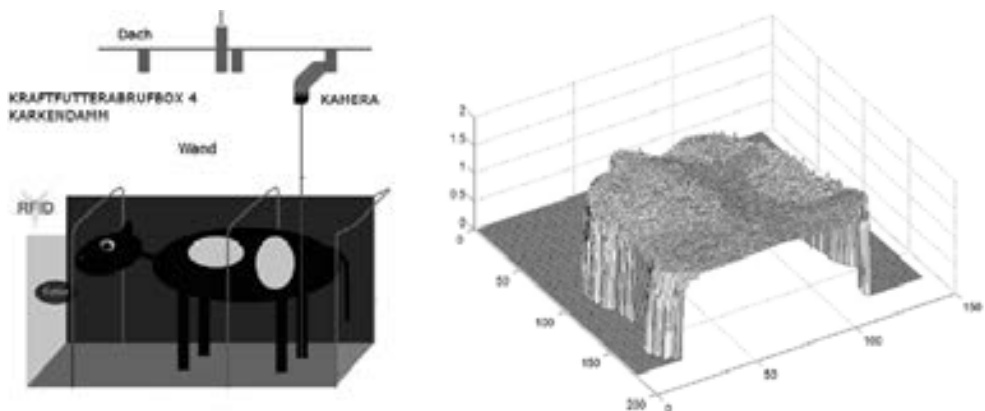


Abb. 1: Versuchsaufbau in Kiel und dreidimensionale Darstellung des Kuhrückens
 Fig. 1: Set-up in Kiel and threedimensional image of a cows back

Körperkondition erzeugen. Zusätzlich wurden die Möglichkeiten von Ganzkörperanalysen genutzt.

3 Ergebnisse

3.1 Automatische Sortierung der Bilder

Da viele der für den BCS interessanten Merkmale sich im Beckenbereich der Kuh befinden, müssen automatisch die Bilder erkannt werden, auf denen die Kuh von Schwanzansatz bis Hüfte zu sehen ist. Es wurde daher eine automatische Sortierung der Bilder implementiert, die entscheidet, welcher Teil der Kuh abgebildet ist. Anfangs werden einige Bilder der leeren Box benutzt, um die Gasse zu vermessen (Klassifikation - 1). Mithilfe dieser Information wird anschließend zwischen der Klassifikation 0 (leere Box), 0,5 (vorderer Teil der Kuh bis höchstens zur Schulter), 1 (Kuhkörper, aber Schwanzansatz nicht im Bild) und 2 (hinterer Teil der Kuh inklusive Schwanzansatz) unterschieden (Abb. 2).



Abb. 2: Bilder der Klassifikation 0,5, 2 und 1 (links nach rechts)
 Fig. 2: images of classification 0.5, 2 and 1 (from left to right)

Die Sortiersoftware wurde an einer durchgehenden Aufzeichnung der freiwilligen Besuche der Kühe in der Kraftfutterbox in Karkendamm in der Zeit vom 08. bis 09. Juni 2010 getestet. Am 25. August 2010 wurde zusätzlich in Grub eine Testaufzeichnung gemacht, bei der die Kamera eingeschaltet wurde, wenn die Kuh in den Käfig geschickt

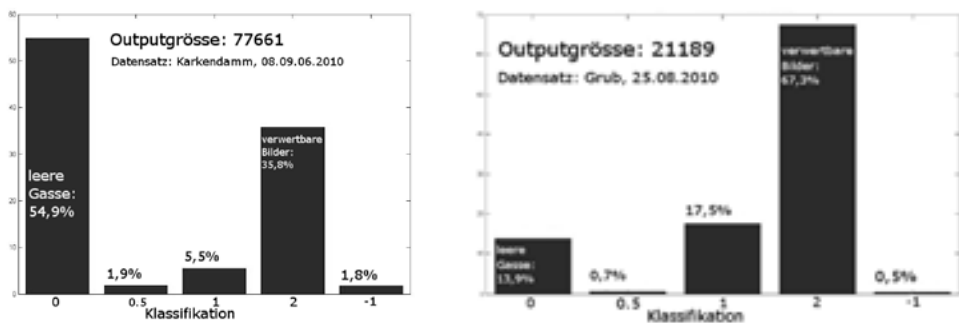


Abb. 3: Verteilungen der Bildklassifikation in Karkendamm (links) und Grub (rechts)
 Fig. 3: Distribution of image classification in Karkendamm (left) and Grub (right)

wurde. Die unterschiedlichen Vorgehensweisen schlagen sich in der Verteilung der Bildklassifikationen nieder (Abb. 3).

Der Anteil der fehlerhaft klassifizierten Bilder betrug 0,2 % bei der Testaufzeichnung in Karkendamm und 2,34 % bei der Aufzeichnung in Grub. Es werden nur noch verwertbare Bilder gespeichert, um das anfallende Datenvolumen zu verringern.

3.2 Festlegen der Region Of Interest (ROI)

Ausschneiden der Kuh und Bewertung des Bildes

Die Trennung von Kuh und Szenerie wurde implementiert und in die Aufzeichnungssoftware integriert, sodass in Echtzeit Bilder von bereits ausgeschnittenen Kühen gespeichert werden. Diese Bilder werden darauf getestet, inwieweit die obengenannten Körperteile erkennbar sind. Es wurde hierzu ein mehrstufiges Testverfahren entwickelt.

Zunächst wird das hintere Profil der Kuh danach bewertet, ob die Sitzbeinhöcker und der Schwanzansatz zu erkennen sind:

- Bewertung 0: keine Sitzbeinhöcker oder Schwanzansatz
- Bewertung 1: Sitzbeinhöcker und Schwanzansatz zu erkennen.

Bilder mit Bewertung 0 werden aussortiert. An mit 1 bewerteten Bildern wird getestet, ob die Sitzbeinhöcker aufgewölbt oder flach sind (Abb. 4):

- Bewertung 2: rechts flach, links aufgewölbt
- Bewertung 3: links flach, rechts aufgewölbt
- Bewertung 4: beide flach
- Bewertung 5: beide aufgewölbt.

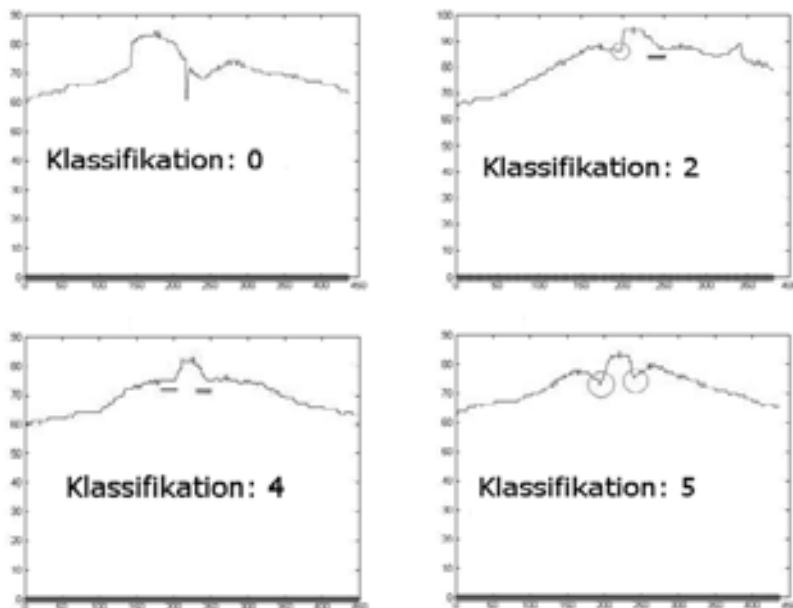


Abb. 4: Bewertungen anhand der Gestalt der Sitzbeinhöcker

Fig. 4: Rating according to the shape of the ischial tuberosities

Das Wissen über die Gestalt der Sitzbeinhöcker ermöglicht ein geeignetes Anpassen der Parameter und eine geringere Fehlerquote bei der Festlegung der Punkte.

Tests an Datensätzen aus Grub und Karkendamm lieferten unterschiedliche Verteilungen der Bewertungen (Abb. 5). Der Anteil der mit 5 bewerteten Bilder an den nicht aussortierten Bildern betrug in Grub 69,5 % und in Karkendamm 95,1 %.

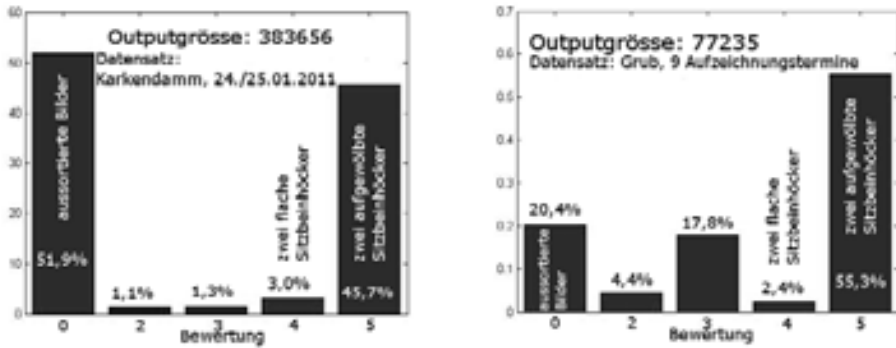


Abb. 5: Verteilungen der Bildbewertung in Karkendamm (links) und Grub (rechts)
 Fig. 5: Distributions of image rating in Karkendamm (left) and Grub (right)

Zusätzlich wird das Bild auf eventuelle Berührungen zwischen Tier und Wänden untersucht. Für beide Bildseiten bedeutet 1 keine Berührung der Wand, 0.5 eine leichte Berührung und 0 eine Berührung auf einem längeren Abschnitt. Die so entstehende zweistellige Signatur hilft dabei, die Wirbelsäule mittig auf dem Kuhrücken zu platzieren und kodiert, welche Hüfthöcker des Tieres erkennbar sind.

Bilder mit der Signatur (0,0) werden aussortiert. Ist einer der Werte in der Signatur 0, so wird die entsprechende Körperseite nicht berücksichtigt.

Bei dem Testdatensatz aus Grub wurden die Signaturen (1,1), (1,0.5), (0.5,1) oder (0.5,0.5) (beide Körperseiten verwendbar) an 76,7 % der Bilder vergeben, beim Datensatz aus Karkendamm waren es 36,5 %. Die Signaturen (1,0), (0.5,0), (0,0.5) oder (0,1) (nur eine Körperseite verwendbar) waren in Grub mit 2,1% vertreten und in Karkendamm mit 37,5 %.

Unterschiede zwischen den Rassen

Es fällt auf, dass beim Testdatensatz aus Karkendamm (HF-Kühe) der Anteil der aussortierten Bilder deutlich höher ist als beim Testdatensatz aus Grub (Fleckvieh). Dies liegt zum Teil in den unterschiedlichen Aufzeichnungssituationen begründet. Zum anderen gibt es zwischen den Rassen Unterschiede in den Längenverhältnissen des hinteren Profils, die bislang in den Testverfahren nicht berücksichtigt sind.

Innerhalb der nicht aussortierten Bilder bestehen außerdem deutliche Unterschiede in den Anteilen der Bilder mit zwei aufgewölbten Sitzbeinhöckern, was durch die unterschiedliche Beckenform dieser beiden Rassen zustande kommt.

Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Messungen

Die Fehlerquote bei der Bestimmung der Sitzbeinhöcker (Quotient aus der Anzahl der Bilder, auf denen die Sitzbeinhöcker nicht gefunden wurden, und der Gesamtanzahl) variiert mit der Bewertung des Bildes:

In der Gruppe der mit 5 bewerteten Bilder lag die Fehlerquote bei 0,6 %, wohingegen bei den Bildern mit Bewertung 4 die Fehlerquote 8,2 % betrug. Die Bewertungen 2 und 3 wurden zusammengefasst, in dieser Gruppe ergab sich eine Fehlerquote von 4,1 %.

Der Abstand zwischen den im Bild gefundenen Sitzbeinhöckern in Pixeln wurde bestimmt und auf seine Wiederholbarkeit untersucht. Als Wiederholbarkeit wird der Quotient aus tierbedingter Varianz und der Summe aus tierbedingter Varianz und Restvarianz bezeichnet. Es wurde ein Datensatz mit 107820 Messwerten (Karkendamm vom 24. bis 27. März 2011) herangezogen.

Die Wiederholbarkeit des Abstandes der Sitzbeinhöcker betrug ohne Bereinigung des Datensatzes und unter Berücksichtigung von Bildern aller Bewertungen 64 % mit einem Mittelwert von 54 Pixeln und einer Standardabweichung von 6 (Abb. 6).

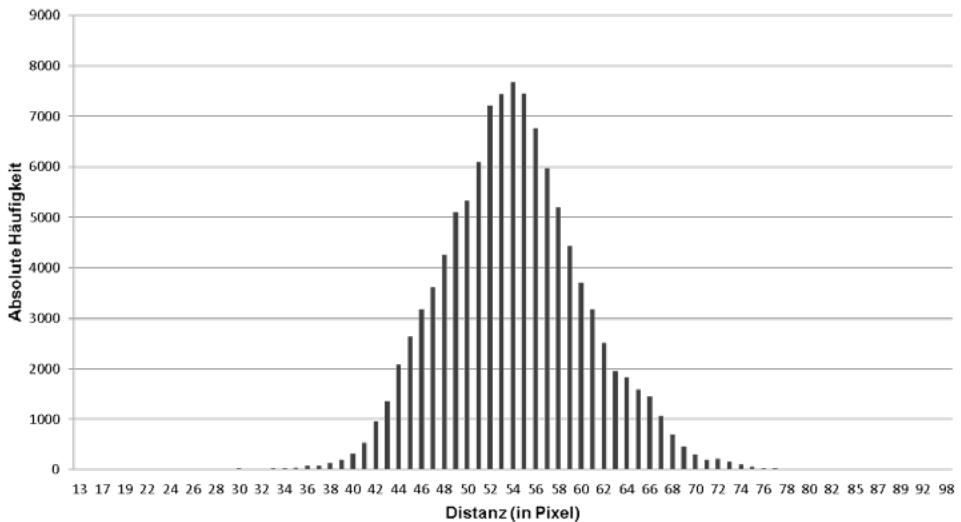


Abb. 6: Verteilung der Abstände der Sitzbeinhöcker

Fig. 6: Distribution of the distances of the ischial tuberosities

Indem ein maximaler Abstand der Werte vom Mittelwert festlegt wird, lässt sich der Datensatz von Ausreißern bereinigen. Die so aufbereitete Messung hat eine Wiederholbarkeit von 79,2 %. Wird sich auf die Bilder mit der Bewertung 5 (geringste Fehlerquote bei der Festlegung der Punkte) beschränkt, liegen noch 102 428 Messwerte vor, und die Wiederholbarkeit steigt auf 69,6 %.

Wird sowohl der Datensatz von Ausreißern bereinigt, als auch nur die Bilder mit Bewertung 5 betrachtet, ergibt sich eine Wiederholbarkeit von 81,1 %.

4 Digitale Körperkonditionsüberwachung

Ideen für Maßzahlen zur Körperkonditionsüberwachung wie etwa die Berechnung von Krümmungen oder die Untersuchung von Schnitten durch die Kuh (Hüfte-Hüfte, Hüfte-Sitzbeinhöcker) sind teilweise implementiert und werden getestet. Diese müssen zu einer einheitlichen Software zusammengesetzt, sowie auf ihre Wiederholbarkeit und ihren Bezug zu tatsächlich am Tier gemessenen Werten überprüft werden.

5 Fazit

Die erreichten Fehlerquoten bei der Lokalisierung prominenter Körperteile im Bild und die relativ hohen Wiederholbarkeiten der gemessenen Abstände lassen darauf schließen, dass die Vorbereitungen für eine Überwachung der Körperkondition anhand dreidimensionaler Aufnahmen des Kuhrückens gründlich durchgeführt worden sind. Nachfolgend wird untersucht werden müssen, inwieweit die Messgenauigkeit für das Erkennen feiner Änderungen der Körperkondition ausreicht.

Die körperlichen Unterschiede zwischen den betrachteten Rassen haben sich bereits als eines der vordringlicheren Probleme herausgestellt. Es bleibt zu klären, ob die Algorithmen dahingehend erweitert werden können, dass ein für beide Rassen gleich gut funktionierendes Verfahren entsteht.

Literatur

- [1] Edmonson, A. J.; Lean, I. J.; Weaver, L. D.; Farver, T.; Webster, G. (1989): A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 72, 68–78
- [2] Metzner, M.; Heuwieser, W.; Klee, W. (1993): Die Beurteilung der Körperkondition (Body Condition Scoring) im Herdenmanagement. *Der praktische Tierarzt*, 11, 991–998
- [3] Blood, D. C.; Studdert, V. P., (2007), *Saunders Comprehensive Veterinary Dictionary*. St. Louis, Missouri, USA, Elsevier, Inc.

Eignung von Beschleunigungssensoren zur Erkennung des Grasens bei Milchkühen

Suitability of accelerometers to identify grazing in cows

KERSTIN BARTH¹, ISTVAN GYÖNGY²

¹ Institut für Ökologischen Landbau, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Trenthorst 32, 23847 Westerau

² IceRobotics Ltd., Bankhead Steading, Bankhead Road, South Queensferry, Edinburgh EH30 9TF, Scotland UK

Schlüsselwörter: Sensoren, Weidegang, Milchkühe

Keywords: sensors, grazing, dairy cows

Zusammenfassung

Rinder zeigen eine ausgeprägte Synchronität hinsichtlich ihres Futteraufnahme- und Ruheverhaltens, die bei Weidehaltung am deutlichsten sichtbar wird. Weichen einzelne Herdenmitglieder stark von dieser Synchronität ab, kann dies auf Gesundheitsprobleme hinweisen. Eine automatische Identifikation solcher Tiere könnte das Herdenmanagement unterstützen. Ziel unserer Untersuchungen war es zu prüfen, ob mithilfe von Beschleunigungssensoren das Grasens von anderem Verhalten abgegrenzt werden kann. In die Untersuchung waren 49 Milchkühe einbezogen, deren Verhalten auf der Weide sowohl mittels Sensoren als auch durch direkte Tierbeobachtungen (scan sampling) erfasst wurde. Insgesamt konnten 502 Ereignisse bewertet werden. Das Grasens wurde mit einer Sensitivität von 0,88 erkannt. Die Spezifität betrug 0,86. Bei der Einzelbewertung der Sensoren, zeigten 22 der 36 bewertbaren Sensoren eine Sensitivität $\geq 0,8$. Die sensorspezifische Spezifität konnte für 40 IceTag3D berechnet werden – dabei erreichten 26 Sensoren einen Wert $\geq 0,8$. Eine Aufnahme des Graseverhaltens mittels der gewählten Sensoren ist möglich, der verwendete Auswertungsalgorithmus jedoch noch zu verbessern.

Summary

On pasture, cattle show a distinctive synchrony in their behaviour. Deviation from that synchrony might indicate health disorders in animals, and an automatic detection of affected animals would support the farmer in its herd management. Our study aimed for the evaluation of accelerometers as indicators of grazing in dairy cows. The behaviour of 49 dairy cows was recorded by accelerometers as well as by direct observation done as scan sampling. In total, 502 bouts could be analysed. Grazing was detected with a specificity of 0.88. The sensitivity was 0.86. When the sensors were evaluated individually, 22 of 36 sensors showed a sensitivity ≥ 0.8 . The sensorspecific specificity could be calculated of 40 sensors – 26 of them had a specificity ≥ 0.8 . Thus, accelerometers can be used to identify grazing in cows but there is room for improvement in the applied algorithm.

1 Einleitung

Rinder zeigen eine ausgeprägte Synchronität hinsichtlich ihres Futteraufnahme- und Ruheverhaltens. In der Laufstallhaltung kann die Ausprägung synchronen Verhaltens eingeschränkt sein, z. B. zwingt ein unzureichendes Fressplatzangebot die Tiere zur Futteraufnahme nacheinander. Am sichtbarsten wird das synchrone Verhalten bei Weidehaltung - hier wechseln deutliche Phasen der gemeinsamen Futteraufnahme mit Phasen des gemeinsamen Ruhens und Wiederkauens ab (BENHAM, 1982). Weichen einzelne Herdenmitglieder stark von dieser Synchronität ab, kann dies z. B. auf Gesundheitsprobleme hinweisen.

Während bei der Stallhaltung mindestens die individuelle Kraftfutteraufnahme automatisch erfassbar ist und damit Abweichungen erkannt werden können, ist bei Weidehaltung die tierindividuelle Überwachung der Futteraufnahme bisher kaum möglich. Bisherige Studien (RUTTER et al., 1997; UMEMURA et al., 2009) versuchten, die Kieferbewegung als Indikator für das Grasens zu erfassen. Jedoch war dafür ein großer Aufwand nötig, der auch der praktischen Anwendung bei allen Tieren einer Milchviehherde widerspricht. Ein anderer Ansatz beruhte auf der Aufzeichnung der Geräusche, die beim Grasens und Kauen auftreten (UNGAR und RUTTER, 2006).

Beobachtet man die Bewegungen, die von Rindern während des Grasens ausgeführt werden, so fällt eine spezifische Bewegung des Kopfes auf, die beim Abreißen des erfassten Grasbüschels auftritt. Das Abreißen führt zu einer ruckartigen Bewegung, die bedingt durch das fortlaufende Grasens rhythmischen Charakter hat. Ziel unserer Untersuchungen war es zu prüfen, ob mithilfe von Beschleunigungssensoren die für das Grasens typische Kopfbewegung der Tiere automatisch erkannt und damit das Grasens von anderem Verhalten abgegrenzt werden kann.

2 Material und Methoden

Es wurden 23 Kühe der Rasse Deutsche Holstein – schwarzbunt (DH) und 26 Kühe der Doppelnutzungsrasse Deutsche Rotbunte DN (Rbt) des Instituts für Ökologischen Landbau einbezogen. Die beiden Rassen werden in zwei Herden mit je 45 Kühen getrennt aber unter den gleichen stallbaulichen und Managementbedingungen gehalten. Zwischen den beiden Melkzeiten gingen die Tiere tagsüber auf die Weide, wobei die beiden Rassen auch dort getrennt voneinander gehalten wurden. Nachts verblieben die Tiere im Stall. Die mittlere tägliche Milchleistung betrug im Versuchszeitraum 24,9 kg (4,06 % Fett, 3,21 % Eiweiß) für die DH und 16,2 kg (4,77 % Fett, 3,45 % Eiweiß) für die Rbt.

Als Sensoren wurden IceTag3D (IceRobotics Ltd., Edinburgh, UK) eingesetzt, die am Halsband der Kühe befestigt wurden (Abb. 1). Die Beschleunigung wurde dreidimensional mit einer Frequenz von 16 Hz in einem Bereich von ± 3 g aufgezeichnet. Um die IceTag3D annähernd in der richtigen Position unter dem Hals der Tiere zu halten, wurden sie mit einem kleinen Gewicht versehen. Die Gewöhnungsphase, in der die Tiere das Halsband trugen ohne dass Aufzeichnungen vorgenommen wurden, betrug eine Woche.



Abb. 1: Position der Sensoren am Halsband
 Fig. 1: Accelerometer position at neckband

Über sechs Wochen wurden die Tiere während des Weidegangs direkt beobachtet. Dieser wurde in drei Beobachtungsperioden unterteilt und jede dieser Perioden wurde jeweils neunmal aufgenommen. Die Beobachtung der Herden erfolgte zeitgleich durch zwei Versuchstechnikerinnen mittels scan-sampling aller 10 Minuten. Folgendes Verhalten wurde dokumentiert: Grasens stehend/liegend, Wiederkauen stehend/liegend und anderes Verhalten stehend/liegend.

Um für die ersten Analysen den Effekt der Messwiederholungen auszuschließen, wurde für jede Kuh eine Beobachtungsperiode zufällig ausgewählt (Zufallszahlengenerierung).

Da die Direktbeobachtungen in 10-Minuten-Intervallen aufgezeichnet wurden, Ice-Tag3D jedoch kontinuierlich Angaben zum Zustand: Grasens/Nicht-Grasens liefert, wurden diese Informationen ebenfalls in 10-Minuten-Intervallen aufbereitet und entschieden, ob das Tier in dieser Zeit mit hoher Wahrscheinlichkeit graste/nicht graste.

3 Ergebnisse und Diskussion

Es konnten die Daten von 22 GH und 20 Rbt ausgewertet werden. Die nicht auswertbaren sechs Kühe wurden im Versuchszeitraum entweder trocken gestellt oder verkauft bzw. es waren keine auswertbaren Daten aufgezeichnet worden.

Insgesamt konnten 502 Ereignisse bewertet werden. In 182 von 208 Fällen wurde das Grasern als solches erkannt, in 252 von 293 Fällen wurde das „Nicht-Grasern“ richtig ausgewiesen. Die Sensitivität betrug demnach 0,88, die Spezifität 0,86.

Die sensorspezifische Sensitivität konnte für 36 IceTag3D ermittelt werden, da die zufällig ausgewählten Beobachtungsperioden von sechs Sensoren kein Grasern als Verhalten beinhalteten. 22 der 36 Sensoren zeigten eine Sensitivität $\geq 0,8$.

Auch für die Berechnung der sensorspezifischen Spezifität konnten nicht alle Ice-Tag3D genutzt werden: zwei von den 42 ausgewerteten Sensoren wiesen für den zufällig gewählten Beobachtungszeitraum nur den Zustand „grasend“ aus. 26 der 40 IceTag3D erreichten eine Spezifität von $\geq 0,8$ (Abb. 2).

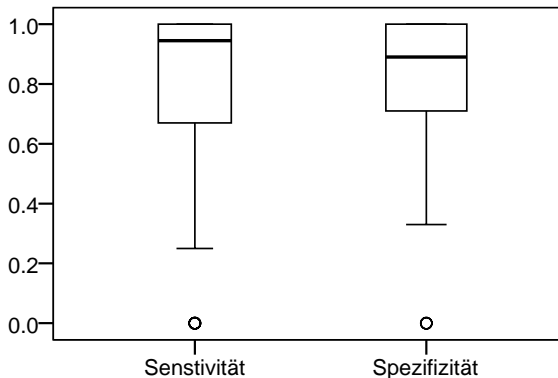


Abb. 2: Lagemaße der sensorspezifischen Sensitivität ($n = 36$) und Spezifität ($n = 40$)
 Fig. 2: Boxplot of sensor-specific sensitivity ($n = 36$) and specificity ($n = 40$)

Auch wenn die Zielgrößen der beiden Kennwerte ($>0,9$) noch nicht erreicht wurden, können die Ergebnisse doch als sehr gut bezeichnet werden. Die vorhandenen Abweichungen sind zum einen auf den noch verbesserungsfähigen Auswertungsalgorithmus zurückzuführen, zum anderen ist zu berücksichtigen, dass auch das Verfahren des scan-sampling die Aussagen beeinflusst: Aufgrund der Erfassung des Verhaltens aller 10 Minuten kann nicht automatisch auf das Vorliegen des Verhaltens über den gesamten 10-Minuten-Zeitraum geschlossen werden. Eine weitere Fehlerquelle stellt die Positionierung der Sensoren dar, da trotz des angebrachten Gewichtes ein Verrutschen beobachtet werden konnte.

Berücksichtigt man diese Einflüsse so zeigt diese Analyse, dass eine Aufnahme des Graseverhaltens mittels der gewählten Sensoren möglich, aber noch Verbesserungsbedarf besteht.

Literatur

- Benham, P. F. J. (1982): Synchronization of behaviour in grazing cattle. *Appl. Anim. Ethology* 8, 403–404
- Rutter, S. M.; Champion, R.A.; Penning, P. D. (1997): An automatic system to record foraging behavior in free-ranging ruminants. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 54, 185–195
- Umemura, K.; Wanaka, T.; Ueno, T. (2009): Technical note: estimation of feed intake while grazing using a wireless system requiring no halter. *J. Dairy Sci.* 92, 996–1000
- Ungar, E. D.; Rutter, S. M. (2006): Classifying cattle jaw movements: Comparing IGERBehaviour Recorder and acoustic techniques. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 98, 11–27

Entwicklung eines Messsystems für die Erfassung und Quantifizierung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten von Milchkühen

Development of a measuring system for recording and quantifying feeding and rumination activity of dairy cows

UWE RICHTER

Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen

Schlüsselwörter: Wiederkäuen, Milchkühe, Fressverhalten, Messtechnik, Messsystem

Keywords: rumination, cow, feeding behaviour, measurementsystem

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit weiteren Milchleistungssteigerungen kommt einer wiederkäuergerechten Fütterung im Hinblick auf die Vermeidung gesundheitlicher Risiken eine besondere Bedeutung zu. Ziel des Vorhabens war es, eine Messmethode zur Bestimmung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten zu entwickeln, welche die bisherigen methodischen Unzulänglichkeiten überwindet und ermöglicht den qualitativen und quantitativen Einfluss tierindividueller, fütterungsbedingter und leistungsbezogener Faktoren zu erfassen. Hierzu wurde der Prototyp eines Messsystem entwickelt, das in einem Messhalfter integriert wurde. Das Messsystem beinhaltet einen Sensor zur Erfassung der Kaubewegungen, einen Datenlogger für die Speicherung der Messdaten, ein Akkupack zur Energieversorgung, und eine Auswertungssoftware für die automatische Analyse der erfassten Messdaten. Zwecks Überprüfung des Prototypen unter Praxisbedingungen wurden im Rahmen eines Fütterungsversuches Messungen der Fress- und Wiederkäuaktivität durchgeführt. Zur Validierung der Auswertungssoftware wurden die Ergebnisse mittels einer Sichtkontrolle der Messwertkurven kontrolliert.

Die positiven Messergebnisse zeigten, dass das System die gestellten Anforderungen erfüllt. Es muss aber noch an neue, im Laufe des Versuchs gefundene Anforderungen angepasst werden.

Summary

An optimized feeding, with specific focus on the roughage value of the feeds, plays an important role in the prevention of health risks. The aim of this project was to establish a new method for the determination of feeding and rumination activities, which overcome the inaccuracies and limitations of previously developed methods. Therefore, a prototype of a measurement system was developed and was integrated into a halter. The new system consists of a sensor to detect the movements of mastication, a data logger for storing data, a battery pack for supplying power and analysis software for automatic differentiation of the collected data. The system has been tested during a feeding study. All results of the evaluation software were validated through a visual inspection of the measured data.

The positive test results showed that the system stand to it promises. But it has to be adapted to new requirements which have been found during this study.

1 Einleitung

Die milchviehaltenden Betriebe in Deutschland stehen unter einem enormen Kostendruck. Die Rentabilität der Milcherzeugung wird am stärksten von der Höhe der jährlichen Milchleistung der Kühe beeinflusst (WEISS et al., 2005). Vor diesem Hintergrund wird eine weitere Steigerung der Milchleistung angestrebt. Eine erhöhte Milchleistung setzt neben züchterischen und umweltbedingten Verbesserungen, eine Optimierung der Nährstoffversorgung der Kühe voraus. Neben einer bedarfsgerechten Energie-, Protein-, und Mineralstoffversorgung steht die Futterstruktur dabei besonders im Fokus. Kraftfutterreiche Rationen ohne ausreichenden Anteil von Rohfaser führen vermehrt zu Störungen der Pansenfunktion und haben negative Auswirkungen auf die Tiergesundheit (Stoffwechsel-, Klauen- und Eutererkrankungen) (STEINWIDDER und GRUBER, 2002). Strukturgehalt und Energiedichte der Ration müssen deshalb optimal aufeinander abgestimmt werden.

Für die Milchviehfütterung wurden in der Vergangenheit verschiedene Systeme zur Beurteilung der Futterstruktur entwickelt. Als Messgrößen zur Beurteilung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln wurden unter anderem die Speichelsekretion (KAUFMANN und ORTH, 1996), der Rohfasergehalt (MERTENS, 1997) und Fress- und Wiederkäuaktivität (HOFFMANN, 1990) herangezogen. Messungen zur Speichelsekretion sind mit großen methodischen Schwierigkeiten behaftet und daher nur bedingt zur Beschreibung der Futterstruktur geeignet. Aufgrund der großen Variation in der chemischen Zusammensetzung von Raufutter ist auch der Anteil von Rohfaser in der Futtermischung kein geeignetes Kriterium, um den Strukturwert von Futtermischungen hinreichend zu beurteilen (GFE, 2001).

Die in Deutschland etablierten Futterbewertungssysteme „strukturwirksame Rohfaser“ (HOFFMANN, 1990) und „Strukturwert“ (DEBRABANDER et al., 1999) sind mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet. Um die Futterstruktur genauer an die Erfordernisse einer wiederkäuergerechten Rationsgestaltung bei hohen Milchleistungen anpassen zu können, sind weitere Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren erforderlich (GFE, 2001). Voraussetzung hierfür ist eine Messmethode, welche es ermöglicht, die zahlreichen Einflussfaktoren auf Fress- und Wiederkäuaktivität quantitativ und qualitativ zu bewerten. Die bisherigen Methoden weisen jedoch erhebliche Ungenauigkeiten und Einschränkungen bezüglich der Anwendung und der Aussagefähigkeit auf. Auch wurden bislang die Interaktionen verschiedener Einflussgrößen nur unzureichend berücksichtigt.

2 Stand der Technik

Die in der Vergangenheit gebräuchlichsten Verfahren zur Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten sind die Direkt- und die Videobeobachtung. Zur Erhöhung der Präzision und zur Gewährleistung der Wiederholbarkeit von Messungen wurden aber auch unterschiedliche elektronische Sensorsysteme zur Erfassung der Fress- und Wiederkäuaktivitäten entwickelt.

Voraussetzung für eine umfassende Erfassung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten ist die Entwicklung einer Messmethode, welche es ermöglicht mittels exakter wiederholbarer Messungen und unter Ausschluss von Störgrößen, die Fress- und Wiederkäuaktivität quantitativ zu erfassen. Für eine umfassende und praxisrelevante Messmethodik sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Das Messsystem soll kontinuierliche Messungen über mehrere Tage ermöglichen.
- Das Messsystem sollte die Mobilität der Tiere nicht beeinträchtigen, um Messungen unter Laufstallbedingungen zu ermöglichen.
- Die Beeinflussung der Tiere durch das Messsystem muss so gering wie möglich gehalten werden.
- Es muss eine Differenzierung der einzelnen Kauschläge möglich sein, um eine Quantifizierung der Kauschläge zu ermöglichen.
- Es muss eine automatische Auswertung der Messergebnisse erfolgen, um eine subjektive Klassifizierung und Quantifizierung der Kauaktivität zu gewährleisten.

Die bisherigen Messmethoden sind dazu nur bedingt in der Lage. Die visuelle Beobachtung ermöglicht keine objektive Erfassung (PENNING, 1983). Auch die bisher zum Einsatz gekommenen automatischen Messsysteme weisen erhebliche Schwächen auf. Entweder finden sie nur in Anbindehaltung Verwendung (HOFFMANN, 1990; DEBRABANDER et al., 1999) oder sie verfügen nicht über den erforderlichen Speicher, um detaillierte Messungen über mehrere Tage zu ermöglichen (SCHIRMANN et al., 2009). Des Weiteren existiert keine automatische Auswertungssoftware, welche eine objektive Auswertung der gewonnenen Messdaten anhand fest definierter Grenzwerte ermöglicht. Somit ist ein Vergleich von Versuchsergebnissen, welche mit unterschiedlichen Mess- und Auswertungsverfahren gewonnen wurden, nicht möglich (KONONOFF et al., 2002). Die hohe inter- und intraindividuelle Variabilität in der Fress- und Wiederkäuaktivität von Kühen verhindert bisher die Festlegung fest definierter Grenzwerte. Erst durch eine ausreichende Quantifizierung und Qualifizierung kann es gelingen eine universell einsetzbare Auswertungssoftware zu entwickeln.

3 Material und Methoden

Das oben beschriebene Aufgabenprofil an eine praxisrelevante Messmethodik stellt 3 Kernaufgaben an die Entwicklung eines Messsystems zur Erfassung und quantitativen Bewertung der Kauaktivität bei Milchkühen:

1. Entwicklung eines Sensorsystems mit Datenlogger
2. Integration des Sensorsystems in ein Halfter
3. Erstellung einer Auswertungssoftware

3.1 Das Sensorsystem

Das Sensorsystem ist in eine metallene Röhre integriert. Es besteht aus dem optischen Sensor, einer Aktorscheibe, einen an der Aktorscheibe befestigten Seilzug und einer Spiralfeder. Die Aktorscheibe ist über einen Seilzug mit dem Maulgurt des Halters verbunden. Öffnet das Versuchstier das Maul, entfernt sich die Aktorscheibe vom Sensor und der Messwert sinkt ab. Schließt sich das Maul wieder, wird die Aktorscheibe über

eine in den Messwertaufnehmer integrierte Spiralfeder in Richtung Sensor gedrückt und der Messwert steigt wieder an (Abb. 1).

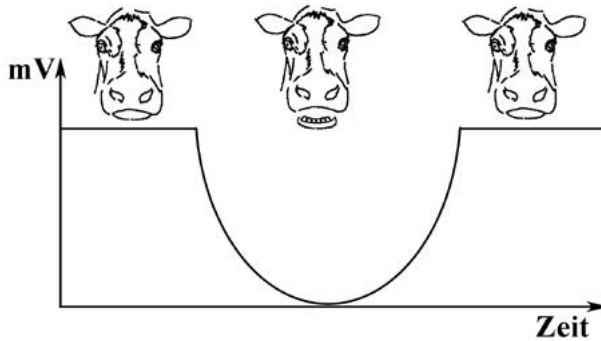


Abb. 1: Verhältnis Messwert zu Maulöffnung

Fig. 1: Relation of measured value to mouth opening

3.2 Der Datenlogger

Der Datenlogger befindet sich in einem Aluminiumspritzgussgehäuse mit Anschlüssen für die Fremdspannungsversorgung sowie den Sensor (Abb. 2). An der Seite ist eine Öffnung mit verschiebbarem Deckel in der eine LED zur Statusanzeige, ein Bedientaster, ein Multi-Media-Card-Kartenschacht sowie eine serielle Steckverbindung eingearbeitet sind. Die Fremdspannungsversorgung erfolgt über eine rechts fest mit dem Gehäuse verschraubte, verriegelbare Steckverbindung. Eine integrierte Schmelzsicherung schützt vor einem Kurzschluss durch vertauschen der Pole der Stromversorgung und vor Überspannung. Beim Absinken der Eingangsspannung wird ein Schutzmechanismus aktiv, der eine laufende Messung gezielt beendet.

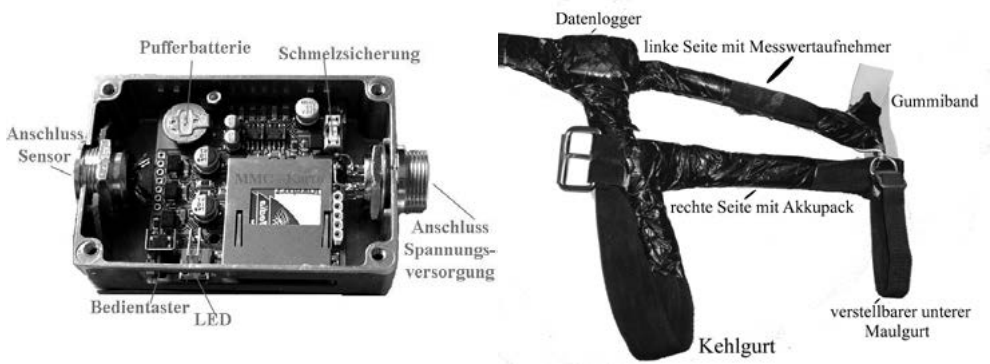


Abb. 2: Der entwickelte Datenlogger (links) und das Messhalter (rechts)

Fig. 2: Developed data logger (left side) and measuring halter (right side)

Als Herzstück fungiert ein RISC-Prozessor. Sämtliche Konfigurationseinstellungen können mittels eines einfachen Terminalprogramms vorgenommen werden. Somit ist eine Plattformunabhängigkeit gewährleistet. Im Rhythmus von 10 Minuten werden die Daten auf die MMC kopiert. Der Datenlogger hat eine Stromaufnahme von 0,1 Watt pro Stunde. Der verwendete Akkupack hat eine Leistung von 24,96 Wh. Dieses entspricht einer Laufzeit des Datenloggers im Messbetrieb von 250 Stunden.

3.3 Das Messhalfter

Das Halfter wurde speziell für das Messsystem entwickelt. Durch die Schwierigkeiten einer stabilen Anbringung von Datenlogger, Sensor und Akkupack an ein handelsübliches Halfter war es erforderlich, ein Halfter zu entwerfen, das folgende Faktoren berücksichtigt: Das Halfter muss eine stabile und geschützte Möglichkeit zur Anbringung der Elektronik und des Sensorsystems aufweisen, eine Möglichkeit zur Fixierung des Messwertaufnehmers bieten und jegliche Beeinflussung des Versuchstieres vermeiden. Das entwickelte Halfter besteht aus zwei übereinandergelegten Nylonbändern, welche zu einem Schlauch vernäht wurden, sodass alle Komponenten der Messeinrichtung (Verkabelung, Akkupack und Messwertaufnehmer), mit Ausnahme des Datenloggers, innerhalb des Nylonschlauches platziert werden konnten (Abb. 2). Durch die Konstruktion ist eine gleichmäßige Verteilung des Gewichts der Messapparatur im Halfter gewährleistet.

3.4 Die Auswertungssoftware

Die Software besteht aus zwei Dateien. Zum einen aus dem Programm zur Auswertung der Dateien und zum anderen aus der Konfigurationsdatei, in der die Parameter der Auswertung festgelegt werden. Die Konfigurationsdatei ist eine Textdatei, welche vor jeder Messung vom Auswertungsprogramm eingelesen wird, um die einstellbaren Parameter der Auswertung einzulesen. Sie ist in zwei Bereiche eingeteilt, den allgemeinen Auswertungsparametern und den Auswertungsparametern der Unterscheidung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten. Die Auswertungsparameter wurden während der Entwicklung ermittelt und sind für alle Messdateien universell.

Der Programmablauf wird im Folgenden beschrieben. Nach dem Einlesen der Messdaten aus dem Datenlogger werden die Bereiche ohne Maulaktivität festgelegt. Das heißt, es werden Bereiche bestimmt, in denen die Messwertkurve nicht vom festgelegten Systemnullwert abweicht. Dann werden die Bereiche in „willkürliche“ und „nicht willkürliche“ Pausen unterteilt. „Nicht willkürliche“ Pausen sind Pausen mit einer Länge von weniger als 1,5 Sekunden. Bei diesen Pausen handelt es sich um die Pausen zwischen den einzelnen Kauschlägen, wenn das Maul kurz geschlossen wird und somit der Messwert auf den Systemnullwert ansteigt. Die „willkürlichen“ Pausen sind somit alle Bereiche, auf denen der Messwert dem Systemnullwert entspricht $\geq 1,5$ Sekunden. In die „willkürlichen“ Pausen sind jetzt nur die Pausen zwischen den Wiederkäuboli, längere Unterbrechungen in Fress- und Wiederkäuphasen und die Bereiche ohne Maulaktivität zwischen den Fress- und Wiederkäuphasen enthalten. Im nächsten Schritt werden dann die Phasen ohne Maulaktivität zwischen den Fress- und Wiederkäuclustern klassifiziert. Hierfür wurde eine Mindestlänge von 75 Sekunden festgelegt. Die Position und Länge dieser Bereiche ohne Maulaktivität wird gespeichert.

Als nächster Schritt folgt die Analyse der Messbereiche mit „nicht willkürlichen“ Pausen und Abweichungen vom festgelegten Nullwert. Bei diesen Abschnitten handelt es sich um Abschnitte, in denen Kauschläge erfasst wurden. Um die Maulaktivitäten Fressen und Wiederkäuen von anderen kürzeren Maulaktivitäten abzugrenzen, werden sie anhand der Länge der Maulaktivität unterteilt. Als Unterscheidungskriterium wurde dafür, nach KOLB et al. (1989), eine Mindestlänge des Bereichs von 3 Minuten festgelegt. Die Position und die Länge der kurzen Bereiche von Maulaktivität werden ebenfalls gespeichert. Nachdem alle Bereiche ohne Maulaktivität und die Bereiche kurzer Maulaktivität herausgefiltert werden, bleiben nur noch die Cluster der Verhaltensaktivitäten Fressen oder Wiederkäuen als nicht klassifiziert übrig.

Als geeignete Methode zur Unterscheidung von Fress- und Wiederkäuaktivitäten erwies sich die Bildung eines Histogramms der Aktivitätsbereiche mit Maulaktivität mit einer Länge von 10 Sekunden bis 250 Sekunden. Diese Längenbereiche entsprechen der in der Literatur beschriebenen Variation in der Länge der Wiederkäuboli. Die Schrittweite des Histogramms liegt dabei bei 10 Sekunden. Die im Histogramm gefunden Häufigkeiten werden aufsummiert und die Summe wird durch die Dauer (in Sekunden) des Clusters geteilt. Es ist nun zu erwarten, dass der Wert für ein Wiederkäucluster größer ist als der eines Fressclusters, da im Wiederkäucluster ungleich mehr Aktivitätsbereiche mit einer Länge im Bereiche des Histogramms zu erwarten sind als bei einem Fresscluster. Als optimales Unterscheidungskriterium zwischen Fress- und Wiederkäuclustern wurde ein Wert von 0,0005 erarbeitet. Das bedeutet, alle Werte, die unter diese Entscheidungsschwelle liegen, klassifizieren Fressaktivitäten und alle Werte über diesen Wiederkäuaktivitäten.

Das Ergebnis der Berechnungen mittels der Auswertungssoftware ist die Datei „results_complete.dat“. Dabei handelt es sich um eine reine Textdatei. Die Auswertungssoftware legt für alle zugeordneten Cluster chronologisch geordnet eine eigene Zeile an. Zur Vorbereitung der Auswertung wird jede Datei mit einem neuen Namen versehen, der Informationen zum Namen der Ursprungsmessdatei, dem Datum der Messung, der Nummer des Datenloggers, dem Betrieb und dem Versuchstier enthält. Die so veränderten Dateien können im Anschluss mit herkömmlichen Statistikprogrammen weiterverarbeitet werden. Parallel zur Auswertung mit der Auswertungssoftware wurde eine optische Kontrolle durchgeführt.

4 Ergebnisse

Während der Erprobungsphase konnten insgesamt 25 Messdateien mit 73 Messtagen von 15 Tieren ausgewertet werden. Bei der optischen Durchsicht fielen zwei Faktoren auf, die Implausibilitäten bei der Auswertung mit der Auswertungssoftware erkennen ließen. Erstens kam es bei den Messungen bei verschiedenen Tieren wiederholt zu variierenden Änderungen des Maximalwertes. Der Maximalwert entspricht dem Messwert bei geschlossenem Maul. Im optimalen Fall liegt dieser Messwert bei 2500. Durch Verrutschen des Halfters am Versuchstier kann der Maximalwert nach unten verschoben werden. Die Auswertungssoftware kann eine konstante Verringerung des Maximalwertes innerhalb einer Messdatei korrigieren, ist aber nicht in der Lage, häufigere Schwan-

kungen zu kompensieren. Dies kann dazu führen, dass Phasen falsch als Fressen oder Wiederkäuen klassifiziert werden (Abb. 3). Ein weiteres Problem, welches während der optischen Kontrolle auffiel, waren Wiederkäu- und Fressphasen, welche ohne erkennbare Pause direkt aufeinanderfolgten (Abb. 3). In der Auswertungssoftware ist eine Pausenminimum von 180 Sekunden Voraussetzung für die Unterscheidung von zwei Verhaltensweisen. Durch die direkt aufeinanderfolgenden Verhaltensweisen kommt es zu einer falschen Klassifizierung der einzelnen Verhaltensweisen.

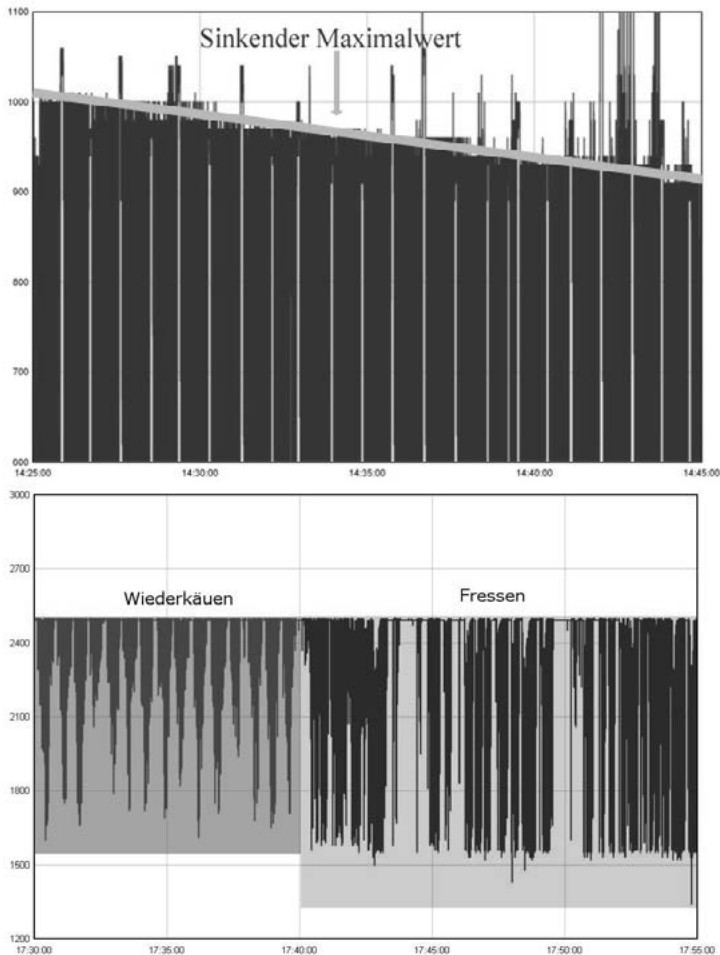


Abb. 3: Messkurven mit sinkendem Maximalwert (oben) und direkter Aufeinanderfolge von Wiederkäu- und Fressphase (unten).

Fig. 3: Measuring curves with decreasing maximum value (above) and consecutive sequence of rumination and feeding phase (below)

Aufgrund dieser Probleme ergaben sich starke Unterschiede beim Vergleich der Ergebnisse der Auswertungssoftware mit den Ergebnissen der optischen Kontrolle. Zum Vergleich der Ergebnisse der Auswertungssoftware mit der Sichtkontrolle wurden für die beiden Parameter „Länge der Fressphasen in Minuten“ und „Länge der Wiederkäuphasen in Minuten“ ausgewählt. Für den Vergleich wurden insgesamt 939 erkannte Fressphasen der Auswertungssoftware 676 erfassten Fressphasen der Sichtkontrolle gegenüber gestellt. Der Mittelwert der Fressphasenlänge war für die Sichtkontrolle geringfügig niedriger als bei dem Auswertungsprogramm (26,72 gegenüber 26,98). Die Standardabweichung vom Mittelwert lag bei der Sichtkontrolle mit 26,59 deutlich niedriger als die der Auswertungssoftware (34,49). Ebenso lag der Standardfehler des Mittelwertes bei der Sichtkontrolle niedriger als bei der Auswertungssoftware (1,02 gegenüber 1,13). Für die Länge der Wiederkäuphasen sind der Mittelwert (40,64 < 48,25), die Standardabweichung (17,51 < 30,57) und der Standardfehler des Mittelwertes (0,77 < 1,55) der Sichtkontrolle (n = 512) deutlich niedriger als die des Auswertungsprogramms (n = 387). Zwischen der Länge der Fress- und Wiederkäuphasen bei Sichtkontrolle und im Auswertungsprogramm der in beiden Datensätzen vorkommenden Einzeltiere traten ebenfalls deutliche Unterschiede auf. Sowohl Varianz als auch Standardabweichung der Sichtkontrolle waren bei allen Tieren geringer als bei den Ergebnissen des Auswertungsprogramms. Dies weist auf eine höhere Homogenität der Daten der Sichtkontrolle gegenüber den Daten des Auswertungsprogramms hin.

Zur statistischen Überprüfung der Unterschiede der Varianzen zwischen den Stichproben der Sichtkontrolle und des Auswertungsprogramms wurde für den Parameter Länge der Fressphasen in Minuten aufgrund der nicht vorhandenen Normalverteilung der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Für den normal verteilten Parameter Länge der Wiederkäuphasen in Minuten wurde der parametrische Levene-Test angewendet. Beide Tests weisen einen signifikanten Unterschied ($p = 0,001$ und $p = 0,000$) in den Varianzen des Mittelwertes der Ergebnisse des Auswertungsprogramms und der Sichtkontrolle auf.

5 Ausblick

Das in dieser Arbeit entwickelte Messsystem ist für umfassende Messungen auf landwirtschaftlichen Betrieben noch nicht praxistauglich. Der eingesetzte Sensor ist durch die mangelnde Fixierung am Flotzmaul der Kühe eine eindeutige Schwachstelle des Systems. Ein neuer Sensor, welcher nicht am Flotzmaul befestigt werden müsste, wäre hier eine gute Lösung. Des Weiteren erscheint die Integration eines zusätzlichen Neigungssensors für die 100-%-Differenzierung zwischen Fress- und Wiederkäuaktivitäten sinnvoll, um die Klassifizierung schnell aufeinanderfolgender Verhaltensmuster zu adaptieren.

Literatur

- DeBrabander, D. L.; DeBoever, J. L.; Vanacker, J. M.; Boucque, C. V.; Bottermann, M. (1999): Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In: P. C. Gransworthy, and Wiseman, J. Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham Univ. Press, p. 111–145
- GFE. (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt a. M.: DLG-Verlag
- Hoffmann, M. (1990): Tierfütterung (2. Ausg.). Berlin, Dt. Landwirtschaftsverlag
- Kaufmann, W.; Orth, A. (1966): Untersuchungen über Einflüsse des Futters und der Pansenfermentation auf die Speichelsekretion. Z. Tierphysiol. 21, 110–120
- Kononoff, P.; Heinrichs, A.; Lehmann, H. (2003): The Effect of Corn Silage Particelsize on Eating Behaviour, Chewing Activities and Rumen Fermentation in Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci. 86, 3343–3353
- Mertens, D. R. (1997): Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. J. Dairy Sci., 80, 1463–1481
- Penning, P. (1983): A technique to record automatically some aspects of grazing and ruminating behaviour in sheep. Grass For. Sci. 39, 89–96
- Schirmann, K. V.; von Keyserlingk, M.A.G.; Weary, D.M.; Veira, D.M.; Heuwieser, W. (2009): Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. J. Dairy Sci. 92, 6052–6055
- Steinwigger, A.; Gruber, L. (2002): Leistungsgrenzen der Milchkuh im Biolandbau sowie bei konventioneller Haltung. Seminar des genetischen Ausschusses der ZAR, (13–35), Salzburg
- Weiß, J.; Pabst, W.; Strack, K.; Granz S. (2005): Tierproduktion (13. Ausg.). Berlin und Hamburg, Paul Parey Verlag

Veränderung der Wiederkauaktivität von Milchkühen im brunstnahen Zeitraum

Changes in rumination activity of dairy cows during oestrus

CHRISTIAN PAHL¹, ANGELIKA HAEUSSERMANN¹, KATRIN MAHLKOW-NERGE²,
EBERHARD HARTUNG¹

¹ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, 24098 Kiel

² Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Abteilung Tierhaltung und Tierzucht, 24327 Blekendorf

Schlüsselwörter: Wiederkauaktivität, Brunst, Sensoren, Tiergesundheit

Keywords: *rumination activity, oestrus, sensors, animal health*

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Veränderung der Wiederkaudauer von Milchkühen im brunstnahen Zeitraum ausgewertet. Hintergrund war die Annahme, dass charakteristische Abweichungen im Wiederkauverhalten einen Beitrag zur Brunsterkennung leisten können. Das Ziel der hier dargestellten Auswertung bestand im Vergleich der Wiederkaudauer zum Besamungszeitpunkt bei erfolgreich und nicht erfolgreich besamten Tieren. Die Datenerfassung erfolgte am Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein). Die Wiederkaudauer wurde mit akustischen Sensoren aufgezeichnet (RuminAct, Milkline Srl, Italien).

Wie erwartet, wurde am Tag vor und am Tag der Besamung ein Rückgang der Wiederkaudauer der betrachteten Kühe registriert. Bei den erfolgreich besamten Tieren war die Reduktion der Wiederkautätigkeit tendenziell deutlicher ausgeprägt, der Unterschied war aber nicht signifikant.

Summary

In this study, changes in rumination activity of dairy cows at the time close to and around oestrus were analysed. The idea behind was the assumption that characteristic variations in rumination activity are a tool to improve heat detection. The aim of the study was to compare rumination activity before and at the day of insemination of cows with successful and unsuccessful insemination. Data were collected at LVZ Futterkamp (LWK Schleswig-Holstein). Rumination activity was recorded by acoustic sensors (RuminAct, Milkline Srl, Italy).

As expected, rumination activity of the examined cows was lower the day before and at the day of insemination. Drop in rumination activity was more pronounced for cows which were inseminated successfully, but the difference was not significant.

1 Einleitung

Das Wiederkauen dient der Zerkleinerung des Vormageninhalts und macht etwa 70 % der Gesamtzerkleinerung der aufgenommenen Nahrung aus (LÖFFLER, 2002). Diese mechanische Bearbeitung ist eine Grundvoraussetzung für den weiteren mikrobiellen Aufschluss der Nahrung. Somit ist die Wiederkauaktivität, die von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird, von zentraler Bedeutung für die Verdauung und die Stoffwechselforgänge von Hochleistungskühen. Zudem kann ein gesteigertes Wiederkauverhalten ein Indikator für eine hohe Speichelproduktion und damit eine gute Pansengesundheit sein. Eine ausreichende Speichelsekretion ist notwendig, um ein konstantes Pansenmilieu aufrecht zu erhalten. Die Auswirkungen verschiedener Rationen auf das Wiederkauverhalten sind hinlänglich bekannt (BEAUCHEMIN und YANG, 2005; COUDERC, 2006; ADIN, 2009).

Direkte Methoden zur visuellen Erfassung des Wiederkauverhaltens, also Beobachtung oder Auswertung von Videoaufnahmen, sind arbeits- und zeitaufwendig (SCHIRMAN, 2009). Daher gibt es verschiedene Ansätze, die Wiederkauaktivität indirekt zu erfassen. Neben akustischen Methoden wurden z.B. Kaubewegungen durch Dehnungsstreifen in elektrische Signale überführt und aufgezeichnet (BEAUCHEMIN et al., 1989).

Das Ziel dieser Untersuchung war es, Veränderungen in der Wiederkaudauer von Milchkühen im brunstnahen Zeitraum zu analysieren.

2 Material und Methoden

Die Datenerfassung wurde im Milchkuhstall des Lehr- und Versuchszentrums Futterkamp (LWK Schleswig-Holstein) durchgeführt. Im Betrieb werden derzeit ca. 190 Milchkühe, die zu 95 % der Rasse Schwarzbunt angehören, mit einer derzeitigen Herdendurchschnittsleistung von 10 700 kg Milch (3,9 % Fett und 3,2 % Eiweiß) in einem freigelüfteten Liegeboxenlaufstall gehalten. Die Datenerfassung erfolgte in zwei Versuchsperioden, die den Zeitraum von August bis Oktober 2010 und von Dezember 2010 bis Mitte März 2011 umfassten.

Für Versuchszwecke sind im Stallgebäude zwei Versuchsabteile mit jeweils 36 Kuhplätzen eingerichtet. Während der beiden Versuchsperioden verblieben jeweils konstante Tiergruppen in den Versuchsabteilen. Das Melken der Versuchstiere begann morgens um 5 Uhr und abends um 16 Uhr, währenddessen wurde das Futter vorgelegt. Gefüttert wurde von August bis Oktober 2010 eine TMR mit 37 % Grassilage, 24 % Maissilage und 39 % (i. d. TM) Kraftfutter und von Dezember 2010 bis März 2011 eine TMR mit 43 % Grassilage, 19 % Maissilage und 38 % (i. d. TM) Kraftfutter. Für die Ermittlung der tierindividuellen Futteraufnahme standen je Versuchsabteil 18 Wiegetröge und für die Bestimmung der tierindividuellen Wasseraufnahme jeweils zwei Wiegetränken zur Verfügung (Insentec/Idento, Marknesse, Niederlande). Die betrachteten Tiere befanden sich in der 1. bis 4. Laktation.

Die Tiere wurden besamt, wenn sie durch Beobachtungen des Stallpersonals, die Aktivitätserfassung (DeLaval, Glinde) und/oder den HerdNavigator™ (Lattec I/S; Dänemark) als brünstig erkannt wurden. Erstlaktierende Kühe wurden in Abhängigkeit von der Milchleistung ab dem 75. Laktationstag, mehrlaktierende ab dem 45. Laktationstag

besamt. Die erfolgreich besamten Tiere waren zum Zeitpunkt der hier betrachteten Besamungen durchschnittlich 160 Tage laktierend (68–275 Tage), die erfolglos besamten Tiere 157 Tage (78–298 Tage).

Die 72 Milchkühe der beiden Versuchsgruppen waren für die Erfassung der Wiederkaudauer mit akustischen Sensoren (RuminAct, Milkline Srl, Italien) ausgestattet. Der in dieser Untersuchung eingesetzte Sensor zeichnet die Wiederkaudauer als Summe über jeweils 2 h auf. Ein im Sensor enthaltenes Mikrofon nimmt die charakteristischen Rejektions- und Wiederkaugeräusche auf, die durch einen Mikroprozessor verarbeitet und anschließend gespeichert werden. Maximal können elf 2-h-Blöcke gespeichert werden, danach werden die Daten überschrieben. Die Auslesung der Daten erfolgte über Infrarotschnittstellen, die hier über den Wassertränken platziert waren.

Für die Auswertung der Wiederkaudauer im brunstnahen Zeitraum wurden die Daten vom 3. Tag vor der Besamung bis zum 1. Tag nach der Besamung betrachtet. Dazu wurden nur die Besamungsereignisse herangezogen, von denen die Wiederkaudaten im betrachteten Zeitfenster vollständig vorlagen. Der Tag der Besamung war hierbei als Tag 0 definiert. Tage vor der Besamung wurden mit einem negativen Vorzeichen gekennzeichnet. Besamungen, die zu einer Trächtigkeit führten, und Besamungen, die nicht erfolgreich waren, wurden jeweils separat betrachtet.

3 Ergebnisse

Die durchschnittliche Wiederkaudauer je Kuh und Tag lag mit 422 Minuten in einem für Hochleistungskühe charakteristischen Bereich (COUDERC et al., 2006; ADIN et al., 2009). Die durchschnittlichen Werte der Wiederkaudauer für einzelne Kühe variierten hierbei mit 158 Minuten/Tag bis 599 Minuten/Tag erheblich. In Abhängigkeit von den Melk- und Fütterungszeiten wiesen alle Kühe unterschiedlich deutlich ausgeprägte, charakteristische Tagesverläufe der Wiederkauaktivität auf. Tageszeiten, in denen die Kühe verstärkt wiederkauten, lagen in der Regel in den frühen Morgenstunden zwischen 2 Uhr und 6 Uhr sowie nachmittags zwischen 12 Uhr und 16 Uhr. Im Anschluss an die beiden genannten Zeiträume lagen die Melk- und Fütterungszeiten, in denen im Tagesverlauf am wenigsten wiedergekaut wurde.

Von den in den Versuchszeiträumen durchgeführten Besamungen flossen 46 Besamungsereignisse in die Auswertung ein. Davon führten 23 Besamungen zu einer Trächtigkeit der jeweiligen Kuh, während die anderen 23 Besamungen erfolglos blieben.

An den Tagen –3 und –2 vor der Brunst bewegte sich die mittlere tägliche Wiederkaudauer der untersuchten Tiere auf nahezu konstantem Niveau (Abb. 1). Die mittlere Wiederkaudauer ging am Tag –1 im Vergleich zum Tag –2 um etwa 50 Minuten/Tag zurück, ein Rückgang um etwa 35 Minuten/Tag war von Tag –1 auf Tag 0 erkennbar. Insgesamt ergab sich damit eine Reduktion der täglichen Wiederkaudauer im Mittel der betrachteten Tiere um ca. 85 Minuten/Tag vom Tag –2 zum Tag der Besamung. Nach der Besamung kehrte die Wiederkaudauer innerhalb eines Tages auf ihr Ausgangsniveau zurück (Abb. 1).

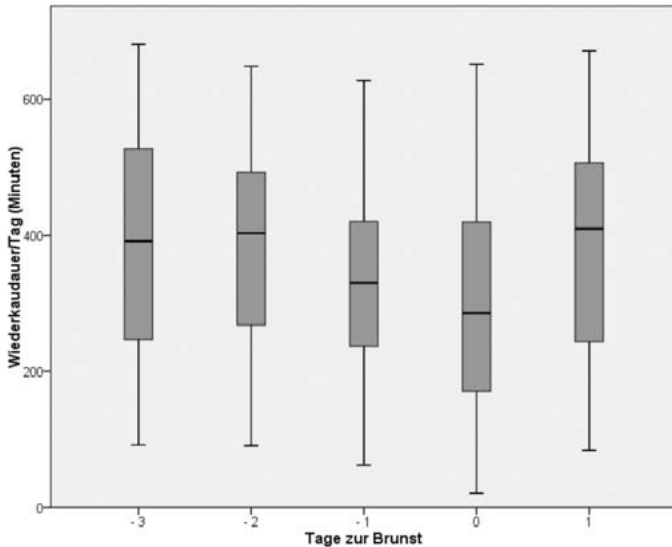


Abb. 1: Verteilung der täglichen Wiederkaudauer von 46 Milchkühen im brunstnahen Zeitraum
 Fig. 1: Distribution of rumination time per day of 46 dairy cows in the period around oestrus

Für den betrachteten Parameter galt, dass er wie in Abbildung 1 und in der Höhe des von den BoxPlots abgedeckten Wertebereichs erkennbar, eine große Spannweite aufweist, was auf deutliche Unterschiede im Wiederkauverhalten der einzelnen Kühe hindeutet. Aus den Abbildungen 1 und 2 ist ersichtlich, dass sich die Werte für die Wiederkaudauer/Tag zum Tag 0 in einen etwas niedrigeren Bereich verschieben.

Tabelle 1 stellt die mittlere tägliche Wiederkaudauer der untersuchten Kühe im brunstnahen Zeitraum dar. Diese war am niedrigsten an den Tagen -1 und 0 und unterschied sich an diesen beiden Tagen signifikant (Friedman-Test, $p < 0,05$) von den übrigen Tagen.

Tab. 1: Mittelwerte der täglichen Wiederkaudauer von 46 Milchkühen im brunstnahen Zeitraum
 Tab. 1: Mean rumination time per day of 46 dairy cows in the period around oestrus

Tage zur Brunst	n	Wiederkaudauer/Tag (Minuten)
-3	46	380 ^a
-2	46	379 ^a
-1	46	330 ^b
0	46	296 ^b
1	46	370 ^a

^{a, b} Tage mit unterschiedlichen Kennziffern weisen auf signifikante Unterschiede in der mittleren Wiederkaudauer hin (Friedman-Test, $p < 0,05$)

Abbildung 2 stellt eine vergleichende Betrachtung der Wiederkaudauer je Tag für erfolgreich und nicht erfolgreich besamte Kühe dar. Die durchschnittliche Wiederkau-

dauer betrug am Tag der Besamung bei den erfolgreich besamten Tieren 278 Minuten/Tag, bei den nicht erfolgreich besamten Tieren 313 Minuten/Tag. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen erwiesen sich nach Überprüfung als nicht signifikant (T-Test; $p < 0,05$). Unterschiede in der Wiederkaudauer/Tag zwischen den beiden Klassen wären beispielsweise zu erwarten, wenn die Ursache für die nicht erfolgreiche Besamung bei der Mehrzahl der Tiere ein falscher Besamungszeitpunkt gewesen wäre. Dies hätte zu einer zeitlichen Verschiebung der Tage mit reduzierter Wiederkaudauer/Tag führen können. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Ursachen für die nicht erfolgreichen Besamungen bisher nicht in die Auswertung einbezogen wurden. Sowohl bei den erfolgreich als auch den nicht erfolgreich besamten Tieren kehrte die Wiederkaudauer am Tag 1 nach der Besamung wieder in einen Wertebereich zurück, welcher dem vor der Brunst entsprach (Abb. 2).

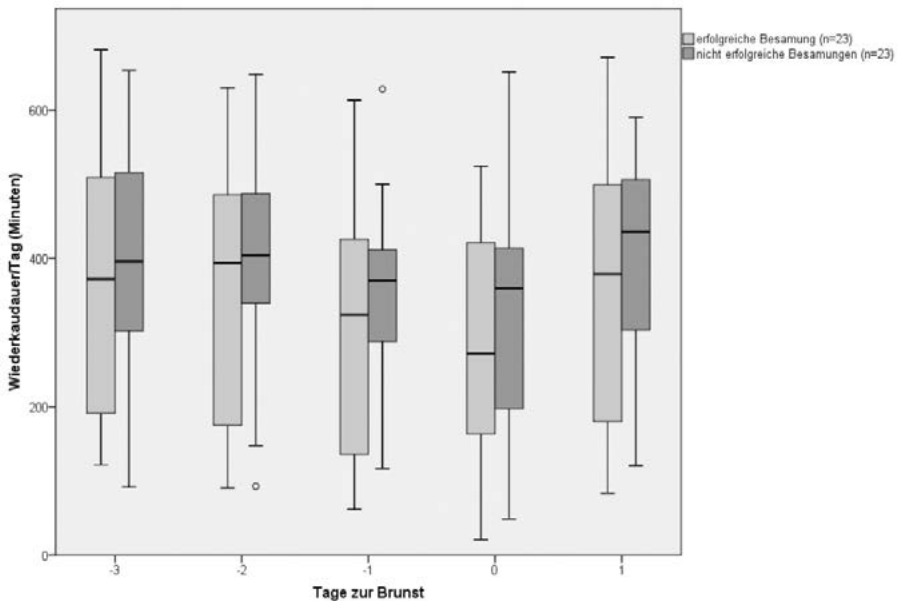


Abb. 2: Verteilung der täglichen Wiederkaudauer von 23 erfolgreich und 23 nicht erfolgreich besamten Milchkühen im brunstnahen Zeitraum

Fig. 2: Distribution of rumination time per day of 23 dairy cows with successful insemination and 23 dairy cows with unsuccessful insemination

4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wiederkaudauer im Brunstzeitraum verändert ist. Sowohl am Tag vor als auch am Tag der Brunst wurden für die Wiederkaudauer/Tag im Mittel geringere Werte festgestellt als an den übrigen Tagen. Kühe, die durch die Besamung trächtig wurden, zeigten am Tag der Besamung im Mittel eine leicht geringere Wieder-

kaudauer als Tiere, deren Besamung nicht erfolgreich war. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war jedoch nicht signifikant.

Literatur

- Adin, G.; Solomon, R.; Nikbachat, M.; Zenou, A.; Yosef, E.; Brosh, A.; Shabtay, A.; Mabweesh, S. J.; Halachmi, I.; Miron, J. (2009): Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage-neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination, and milk production. *Journal of Dairy Science* 92, 3364–3373
- Beauchemin, K. A.; Yang, W. Z. (2005): Effects of physically effective fibre on intake, chewing activity and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science* 88, 2117–2129
- Beauchemin, K. A.; Zelin, S.; Genner, D.; Buchanan-Smith, J. G. (1989): An automatic system for quantification of Eating and ruminating activities of dairy cattle housed in stalls. *Journal of Dairy Science* 72, 2746–2759
- Couderc, J. J.; Rearte, D. H.; Schroeder, G. F.; Ronchi, J. I.; Santini, F. J. (2006): Silage chop length and hay supplementation on milk yield, chewing activity and ruminal digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89, 3599–3608
- Löffler, K. (2002): *Anatomie und Physiologie der Haustiere*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer
- Schirmann, K.; von Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M.; Veira, D. M.; Heuwieser, W. (2009): Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92, 6052–6055

Precision Dairy Management – Computergestützte Erfassung und kombinierte Nutzung brunstbedingter Aktivitäts-, Ruminations- und Lebendmasseveränderungen

Precision Dairy Management – Computer-aided collection and combined use of oestrus-related changes in physical activity, rumination and body weight

STEFANIE REITH, STEFFEN HOY

Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Justus-Liebig-Universität, Bismarckstraße 16, 35390 Gießen

Schlüsselwörter: Precision Dairy Management, Brunst, Aktivität, Rumination, Lebendmasse

Keywords: *precision dairy management, oestrus, activity, rumination, body weight*

Zusammenfassung

Computergestützte Tierdatenmesssysteme werden vermehrt zur Optimierung der Brunsterkennung als entscheidendes Kriterium im Fruchtbarkeitsmanagement eingesetzt. Ziel der Untersuchung war die Erfassung von Aktivitäts-, Ruminations- und Lebendmasseveränderungen von Milchkühen während der Brunst (n = 218 Zyklen aus 3 Betrieben). Zur Bestimmung von Aktivität und Wiederkauaktivität diente ein sensorgestützter Respaktor. Gewichtsdaten wurden über eine in das automatische Melksystem integrierte Wiegeeinrichtung erhoben.

Die Auswertung der Daten zeigte eine im Östrus im Mittel um 21 % erhöhte Aktivität der Kühe mit einer großen Variabilität zwischen den Einzeltieren. Gleichzeitig verringerten sich die Rumination um etwa eine Stunde pro Tag und die Lebendmasse um durchschnittlich 5 kg. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch die Kombination der drei Parameter die Brunsterkennungsrate bis auf 96 % steigen kann.

Summary

Computer-aided collection of data is used to optimize heat detection as the most important predisposition in reproductive management. The objective of this study was to gather deviations of physical activity, rumination and body weight of dairy cows during oestrus (n = 218 cycles from 3 herds). Activity and rumination were recorded by means of a sensor-supported respactor collar, body weight data were obtained by a scale available in the automatic milking system.

Analysis of data showed an increase in cow's activity by 21 % on average with a great variability among individuals. Simultaneously, rumination was significantly reduced by one hour a day and body weight by 5 kg. First results suggest that heat detection rate can be improved until 96 % by combination of the three parameters.

1 Einführung

Hohe reproduktive Leistungen bilden das Fundament einer erfolgreichen Milchproduktion. In der internationalen Literatur wird jedoch übereinstimmend deutlich, dass das in den letzten Jahrzehnten erheblich angestiegene Leistungsniveau der Kühe vermehrt Fruchtbarkeitsstörungen nach sich zieht. Eine sich stetig verkürzende Brunstdauer in Verbindung mit einer abnehmenden Intensität der Symptome kann zudem beobachtet werden (z.B. PETER, 2008). So betrug in Untersuchungen von LOPEZ et al., (2004) die Östrusdauer von Hochleistungstieren ($\geq 39,5$ kg Milch/Tag) 6,2 Stunden, während bei Kühen mit einer niedrigeren Tagesproduktion ($< 39,5$ kg Milch/Tag) dieser Parameter einen Wert von 10,9 Stunden annahm. Die Milchleistung korrelierte dabei eindeutig positiv mit dem Steroidmetabolismus. Andere Studien hingegen widerlegen jeglichen Zusammenhang zwischen dem Milchertrag und dem Brunstverhalten (z.B. LÓPEZ-GATIUS, 2006). Dies zeigt, dass nicht allein die Milchleistung, sondern auch weitere Faktoren Reproduktionsdefizite bedingen. Voraussetzung für eine gute Fertilität der Rinder ist ein bestmögliches Herdenmanagement. Größer werdende Tierbestände und eine zunehmende Arbeitsbelastung erschweren jedoch eine visuelle und individuelle Kontrolle.

Mit dem Ziel einer Verbesserung des Reproduktionsmanagements werden verstärkt technische Hilfsmittel in den Milchviehherden eingesetzt. Messsysteme zur Tierüberwachung ermöglichen eine automatisierte und kontinuierliche Kontrolle des Einzeltieres. Bezüglich der Brunsterkennung konnten die besten Ergebnisse für die Aktometrie gewonnen werden (z.B. SCHOFIELD et al., 1991). Jedoch zeigt nicht jede brünstige Kuh eine gesteigerte Aktivität, sodass es sinnvoll erscheint, weitere Parameter auf östrustypische Veränderungen zu prüfen.

Ziel dieser Untersuchung war die Auswertung der automatischen Erfassung von Aktivitäts-, Wiederkauaktivitäts- sowie Lebendmassedaten im periöstralen Zeitraum zur Brunstdetektion von Milchkühen. Weiterhin wurde die interindividuelle Variabilität der brunstbedingten Veränderungen für ein möglicherweise kombiniertes Monitoring der Daten berücksichtigt.

2 Material und Methoden

In die Analyse des Brunstverhaltens wurden insgesamt 218 Brunstzyklen von Kühen dreier Milchviehbetriebe mit Liegeboxenlaufstall und automatischem Melksystem (AMS) einbezogen. Um sicher auf eine stattgefundene Brunst zu schließen, wurde als Kriterium des Östrus die erfolgreiche Besamung definiert. Die Datenauswertung bezog sich auf den Zeitraum 4 Tage vor bis 4 Tage nach der künstlichen Besamung (KB).

Die physische Aktivität und die Rumination werden mittels des Überwachungssystems Qwes-HR (SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel) bestimmt. Der Respaktor ist links am oberen Teil des Halsbandes der Tiere befestigt und mit einem Beschleunigungssensor zur Messung der Aktivität und einem akustischen Sensor, ein Mikrofon, zur Registrierung des Wiederkauverhaltens ausgestattet. Beide Parameter werden in 2-Stunden-Intervallen aufgezeichnet.

Im Mikroprozessor werden die aktuell gemessenen Daten mit dem gespeicherten Muster verglichen und im Speichermodul in Zuordnung zur Originalzeit abgelegt. Das Messsystem ist mit dem AMS (Fa. Lely) kompatibel, sodass bei jedem Roboterbesuch die Daten ausgelesen und via Infrarotwellen an die Managementsoftware weitergegeben werden.

Ebenso wird bei jedem AMS-Besuch das Gewicht der Tiere über eine in den Boden der Melkbox integrierte Waage erfasst.

Die Werte aller Einzeltiere wurden in eine Exceltabelle überführt und mit der Statistiksoftware SPSS Statistics 19.0 aufbereitet.

3 Ergebnisse

Die Auswertung der Daten zeigt zunächst erwartungsgemäß, dass Kühe auf die Brunst mit erhöhter Unruhe reagierten. Im Proöstrus stieg die Aktivitätskurve an und erreichte mit einem Wert von 472 Einheiten am Tag vor der KB bzw. am Tag der KB das Maximum (Abb. 1). Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass bei der Zusammenfassung der Kühe aus den 3 Betrieben nur die Tiere aus Betrieb 1 den höchsten Wert am Tag -1 hatten, während bei den Kühen aus Betrieb 2 und 3 der Aktivitätspeak am Tag 0 (Tag der KB) auftrat. Die brunstbedingte Aktivitätssteigerung betrug rund 21 %. Die höchste Abweichung konnte in den frühen Morgenstunden zwischen 4 und 6 Uhr festgestellt werden. Am Tag nach der KB fielen die Werte wieder auf das Ausgangsniveau von etwa 390 Einheiten ab.

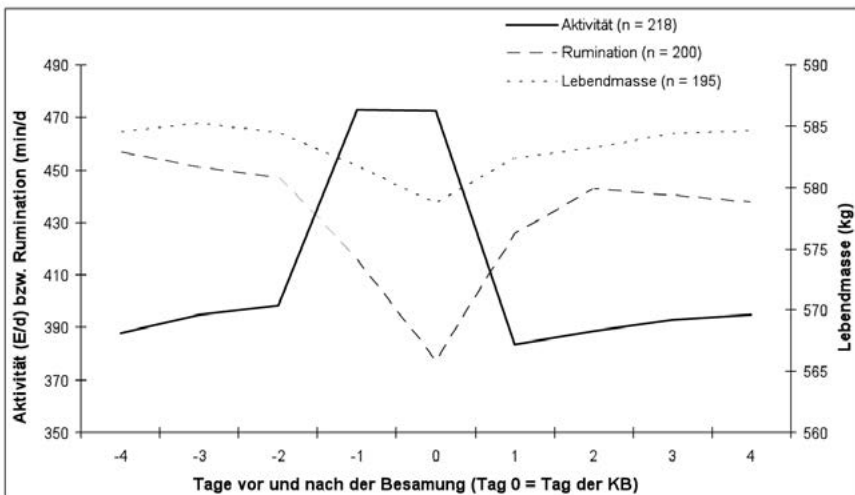


Abb. 1: Dynamik von Aktivität, Rumination und Lebendmasse im periöstralen Zeitraum

Fig. 1: Dynamics of activity, rumination and body weight in the peri-oestrus period

Zusätzlich zum Aktivitätsverhalten beeinflussten die zyklischen Veränderungen die Rumination der Kühe. Im Diöstrus kauten die Tiere täglich im Mittel 7,3 Stunden (440 Minuten) und somit 30 % des Tages wieder. Während der Brunst war eine deutliche Verringerung der Wiederkauaktivität am Tag - 1 sowie mit dem niedrigsten Wert von 377 Minuten/Tag am Besamungstag übereinstimmend in allen 3 Herden zu erkennen. Die Tiere ruminieren bei insgesamt 200 analysierten Brunstzyklen etwa 1 Stunde weniger.

Eine Auslenkung im periöstralen Zeitraum zeigte parallel das Gewicht der Tiere in allen drei Betrieben. So nahm die Lebendmasse im Durchschnitt um 5 kg am Tag der Brunst gegenüber dem Diöstrus ab.

Die Auslenkung der Aktivität am Tag der Brunst war tierindividuell sehr unterschiedlich. Im Folgenden werden die Ergebnisse zur interindividuellen Variabilität der zyklusbedingten Veränderungen der Übersichtlichkeit wegen beispielhaft für Betrieb 1 vorgestellt. Bei 107 analysierten Brunstzyklen, welche alle zur Trächtigkeit der Tiere führten, wurde die relative Abweichung der Aktivität im Östrus vom Basalwert (Mittelwert 4 Tage vor und 4 Tage nach der Brunst) berechnet (Abb. 2).

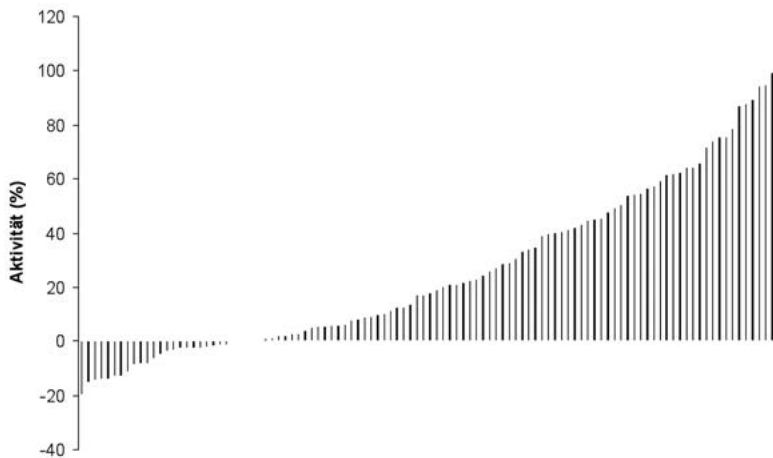


Abb. 2: Abweichung der Aktivität bei 107 analysierten Brunstzyklen (Betrieb 1)

Fig. 2: Activity deviation of 107 analysed oestrus cycles (farm 1)

Bei 81 (76 %) Brunstzyklen konnte mit einem maximalen Wert von 105 % ein Anstieg der Bewegungsaktivität nachgewiesen werden. In 26 Fällen (24 %) hingegen zeigten die Kühe keine Aktivitätssteigerung. Für die Betriebe 2 und 3 betrug dieser Wert 34 bzw. 16 %.

Hinsichtlich Wiederkauaktivität- und Lebendmasseabnahme wurde gleichermaßen eine hohe Varianz zwischen den einzelnen Tieren festgestellt. Ein Rückgang der Wiederkauaktivität im Östrus wurde bei 74 (81 %) von insgesamt 91 ausgewerteten Zyklen (Betrieb 1) beobachtet. Die höchste Abweichung betrug am Besamungstag 53 %. Lediglich bei 17 Brunsten (19 %, Betrieb 2: 13 %, Betrieb 3: 15 %) hatten die Tiere eine erhöhte Rumination am Tag der Brunst.

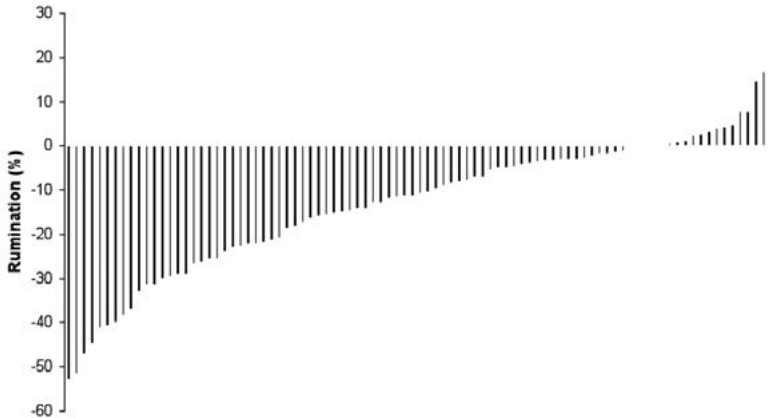


Abb. 3: Abweichung der Rumination bei 91 analysierten Brunstzyklen (Betrieb 1)

Fig. 3: Ruminations deviation of 91 analysed oestrus cycles (farm 1)

Im Betrieb 1 war das Gewicht der Kühe am Tag der Brunst in 74 % der Fälle um 1 kg bis 27 kg reduziert. In 22 Fällen (26 %, Betrieb 2: 23 %, Betrieb 3: 30 %) blieb die Lebendmasse am Tag der Brunst unverändert.

Mit einer multivariaten Analyse von Aktivitäts-, Wiederkau- und Lebendmassedaten werden deutlich mehr Kühe im Östrus entdeckt. Im Vergleich zur alleinigen Kontrolle des Aktivitätsverhaltens erhöhte sich durch ein kombiniertes Monitoring die Brunsterkennungsrate von 76 % auf 96 % (Abb. 4). Im Einzelnen: Von 218 ausgewerteten Brunstergebnissen mit erfolgreicher Besamung in den 3 Herden wiesen die Tiere in 53 Fällen eine verminderte Bewegungsaktivität auf und wurden somit nicht vom System als brünstig erkannt. Von diesen 53 Kühen besaßen jedoch 35 (66 %) eine herabgesetzte Rumination. Lediglich 18 Zyklen wurden weder über eine Steigerung der Aktivität noch über eine Verringerung der Wiederkauaktivität detektiert. Bei 4 dieser 18 Ereignisse waren systembedingt keine Daten vorhanden. Für 2 Brunsten fehlten die Lebendmassewerte.

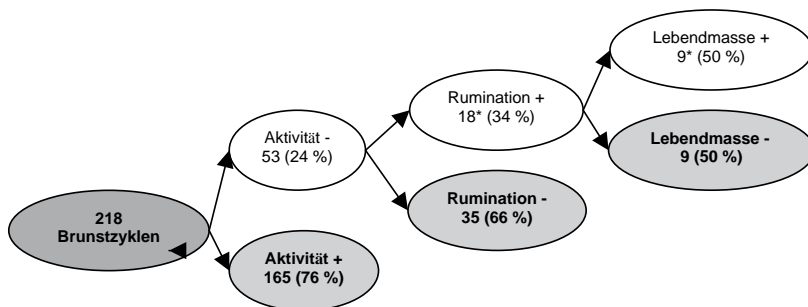


Abb. 4: Kombination der Aktivitätsmessung mit den Daten zu Rumination und Lebendmasse zur Brunsterkennung (* siehe Text)

Fig. 4: Combination of activity, rumination and body weight dynamics for heat detection

Die Einbeziehung der Gewichtsdaten deutete in 9 weiteren Fällen durch eine Abnahme auf einen Zyklus hin, sodass insgesamt 209 der 218 analysierten Brunstperioden identifiziert wurden. Die übrigen 9 Zyklen (4 %) wurden (wahrscheinlich) aufgrund sekundärer Merkmale und nicht über die kombinierte Betrachtung der drei Parameter erkannt.

4 Diskussion

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass die Respektorerwerte (Aktivität) mit einer betriebspezifischen Brunsterkennungsrate von bis zu 84 % (66 bis 84 %) das brunsttypische Verhalten der Kühe in den drei Herden widerspiegeln. Obwohl in den Studien, die auf der pedometrischen Aktivitätsmessung basieren (u. a. BREHME et al., 2006; REDDEN et al., 1993; SCHOFIELD et al., 1991), die Aktivität (Lokomotion) wesentlich stärker anstieg, z. B. um 400 % (BERKA et al., 2004), kann die Funktionssicherheit der Aktivitätsmessung mittels Respektoren in den beschriebenen Grenzen nachgewiesen werden. Das auf Betrieb 1 beobachtete Aktivitätsmaximum am Tag - 1 kann durch die überwiegend visuell stattgefundenen Brunstkontrollen begründet werden, während die Betriebe 2 und 3 hauptsächlich die automatische Erkennung verwendeten. Durch die Nutzung der Aktivitätsdaten ergaben sich auf den Betrieben 2 und 3 z. B. mit einer Günstzeit von 109 bzw. 124 Tagen vergleichsweise bessere Fruchtbarkeitskennzahlen (Betrieb 1: 154 Tage). Ein Problem der Erkennung besteht u. a. darin, dass brünstige Tiere verstärkt nachts aktiv werden (BREHME et al., 2006) – in der eigenen Studie morgens zwischen 4 und 6 Uhr. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Herdenmanager diese Tiere ohne die Nutzung der Aktometrie leicht übersehen kann. Die Sekretion von Östrogenen bedingt ursächlich die Steigerung der Aktivität (ALLRICH, 1994). MONDAL et al. (2006) beobachteten im Proöstrus die Erhöhung des Östrogenspiegels, welche etwa 4 Stunden vor Brunstbeginn im Maximum gipfelte. Mit Sinken der Konzentration an Sexualhormonen normalisiert sich das Verhalten der Kühe wieder.

Bereits seit einigen Jahren wird die automatisch erfasste Steigerung der Aktivität als Alarmsignal zur Brunstvorhersage genutzt. Die eigene Untersuchung zeigt, dass brünstige Kühe neben der Aktivitätserhöhung ebenso Abweichungen bezüglich der Rumination und des Gewichtes aufwiesen. Es ist zu vermuten, dass die größere (loko) motorische Aktivität während des Östrus die (Struktur)Futteraufnahme, die Wiederkauintensität und/oder auch die Liegezeiten – Kühe ruminieren überwiegend in der liegenden Position – beeinflusst. In einer Studie von BREHME et al. (2006) reduzierten Kühe im Östrus ihre Liegezeiten um 6 bis 17 Stunden. In der Literatur ist kaum etwas zum Wiederkauverhalten von rindernden Kühen bekannt. Dass jedoch ein abweichendes Verhalten zur Verbesserung der Brunsterkennung beiträgt, konnte in der eigenen Auswertung nachgewiesen werden. Auch die Dynamik der Lebendmasse ist ein Brunstindikator. Die Gewichtsabnahme beschreibt weniger einen Substanzverlust der Kuh, sondern geht vielmehr auf eine verminderte Pansenfüllung zurück. MALTZ et al. (1997) konnten einen Gewichtsverlust bei 68 % der 65 Brunstzyklen feststellen, den sie mit einem Rückgang der Trockenmasseaufnahme und mit Milchminderleistungen begründeten. Die Untersuchung der interindividuellen Variabilität der zyklischen Veränderungen legte

bei allen drei Parametern eine z.T. große Schwankungsbreite offen. KIDDY et al. (1976) beschrieben neben interindividuellen Unterschieden bezüglich Aktivitätsintensität und -dauer gleichermaßen die intraindividuelle Variabilität als nicht konstant. Obwohl alle 218 analysierten Brunstereignisse zur Trächtigkeit der Tiere führten, wurden mithilfe der Aktivitätsmessung 53 Zyklen nicht vom System angezeigt. Die Tiere wurden folglich über andere Brunstsymptome (z.B. Brunstschleim, Vokalisation) identifiziert.

Im Vergleich zur univariaten Brunstfeststellung verspricht die Kombination mehrerer Merkmale, z.B. Aktivitätsmessung und visuelle Beobachtung (vgl. LEHRER et al., 1992) oder Aktometrie und Zyklusdauer (FIRK et al., 2003), eine deutliche Verbesserung der Erkennungsrate. Aus den eigenen Analysen geht hervor, dass die multivariate Analyse der alleinigen Berücksichtigung der Aktivitätsdaten vorzuziehen ist. Zudem ist die alleinige Messung der Aktivität im Vergleich zur Bestimmung der Rumination für die sichere Brunsterkennung kritisch zu sehen. Die Ergebnisse der brunstbedingten Auslenkung zeigten, dass mehr Tiere über eine verringerte Rumination als über eine erhöhte Aktivität erkannt wurden. Neuere Studien (z.B. SCHIRMANN, 2009) belegten die hohe Messgenauigkeit dieses Systems (SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel). Da die Liegezeit einer Kuh eng mit der Rumination korreliert, kann gemutmaßt werden, dass still- und schwachbrünstige Tiere nicht nur über eine verkürzte Liegedauer (BREHME et al., 2006), sondern ebenso über die Verringerung des Wiederkauens angezeigt werden. Die Einbeziehung der Daten zur Gewichtsveränderung ermöglicht es zusätzlich, die Brunstdetektion zu optimieren.

5 Schlussfolgerung

Automatische Melksysteme als Teil des Precision Dairy Farming liefern eine Vielzahl an Daten, die das Management einer Milchviehherde bei konsequenter Kontrolle erleichtern. Hinsichtlich des Reproduktionsmanagements kann ein Monitoring der Daten zu Aktivität, Rumination und Lebendmasse in einem geeigneten Algorithmus die Brunsterkennungsrate bis auf 96 % steigern lassen.

Die Implementierung der 3 Parameter in ein Fuzzy Logic-Modell könnte die Fehlerate reduzieren, die Sensitivität verbessern und dem Herdenmanager ein entscheidungsunterstützendes System liefern.

Literatur

- Allrich R. D. (1994): Endocrine and Neural Control of Estrus in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 77, 2738–2744
- Berka, T.; Stipkova, M.; Volek, J.; Rehak, D.; Mateju, G.; Jilek, F. (2004): Monitoring of physical activity for management of cow reproduction. *Czech Journal of Animal Science*, 49, 281–288
- Brehme, U.; Stollberg, U.; Holz, R.; Schleusener T. (2006): ALT pedometer – a new sensor-aided measurement system for improvement in oestrus detection. *Research in Agricultural Engineering*, 52, 1–10

- Firk, R.; Stamer, E.; Junge, W.; Krieter, J. (2003): Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. *Livestock Production Science*, 82, 97–103
- Kiddy, C. A. (1976): Variation in Physical Activity as an Indication of Estrus in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 60, 235–243
- Lehrer, A. R. (1992): Oestrus detection in cattle: recent developments. *Animal Reproduction Science*, 28, 355–361
- Lopez, H.; Satter, L. D.; Wiltbank, M. C. (2004): Relationship between level of milk production and estrous behaviour of lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 81, 209–223
- López-Gatius, F.; García-Ispuerto, I.; Santolaria, P.; Yániz, J.; Norgareda, C.; López-Béjar, M. (2006): Screening for high fertility in high producing dairy cows. *Theriogenology*, 65, 1678–1689
- Maltz, E.; Devir, S.; Metz, J. H.; Hogeveen, H. (1997): The body weight of dairy cow. Introductory study into body weight changes in dairy cows as a management aid. *Livestock Production science*, 48, 175–186
- Mondal, M.; Rajkhowa, C.; Prakash, B. S. (2006): Relationship of plasma estradiol-17 β , total estrogen, and progesterone to estrus behaviour in mithun (*Bos frontalis*) cows. *Hormones and Behavior*, 49, 626–633
- Peter, C. (2008): Die Hauptbrunst ist kürzer geworden. *Swissgenetics*, 2/2008: 20–21.
- Redden, K. D.; Kennedy, A. D.; Ingalls, J. R.; Gilson, T. L. (1993): Detection of Estrus by Radiotelemetric Monitoring of Vaginal and Ear Skin Temperature and Pedometer Measurements of Activity. *Journal of Dairy Science*, 76, 713–721
- Schirmann, K.; Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M.; Veira D. M.; Heuwieser W. (2009): Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92, 6052–6055
- Schofield, S. A.; Phillips, C. J. C.; Owens, A. R. (1991): Variation in the milk production, activity rate and electrical impedance of cervical mucus over the oestrous period of dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 24, 231–248

Ergebnisse zur Früherkennung von gesundheitlichen Störungen bei Sauen durch die Besuchsreihenfolge an der Abrufstation

Results of monitoring health disorders of sows by the visit order at electronic sow feeders

BIRGIT HINRICHS¹, DANIEL HOLLING², STEFFEN HOY¹

¹ JLU Gießen, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Bismarckstraße 16, 35390 Gießen

² Big Dutchman Pig Equipment GmbH, Auf der Lage 2, 49377 Calveslage

Schlüsselwörter: Sauen, Abrufstation, Platzziffer, Gesundheitsüberwachung

Keywords: sows, electronic sow feeder, feeding place number, health monitoring

Zusammenfassung

In der Gruppenhaltung von Sauen an der Abrufstation stellt die Tierkontrolle sehr hohe Anforderungen an das Management. Die Fressreihenfolge der Sauen ist ein Parameter, der als Unterstützung der Gesundheitskontrolle dienen kann.

In das Softwareprogramm „BigFarmNet“ ist die tägliche automatische Erfassung und visuelle Darstellung der Fressreihenfolge implementiert. Über einen Algorithmus werden starke Abweichungen der aktuellen Platzziffer in der Fressreihenfolge zu den vorherigen Tagen auf Einzeltierbasis farblich markiert. Dies stellt ein Alarmsignal dar.

Auf 2 Betrieben wird täglich die Fressreihenfolge ausgewertet. Die Alarmwerte werden den Betriebsleitern mitgeteilt und diese geben Rückmeldung über die Behandlungen im Wartestall und über das Befinden der Tiere mit Alarmmeldung.

Es gab im Schnitt 1,6 Meldungen pro Tag. 5 % der Alarmmeldungen konnten durch eine Auffälligkeit, Behandlung oder Impfung des entsprechenden Tieres am selbigen Tag erklärt werden bzw. 13 % im Zeitraum 3 Tage vor oder nach der Alarmmeldung.

Summary

Group housing of sows with electronic sow feeders requires high standards on the management for animal control. The feeding order of sows is a parameter which can be used as a tool in animal health control.

The automatic recording and visualisation of the feeding order is implemented in the software “BigFarmNet”. High deviations of the actual visit number compared to the days before are marked red for each sow by an algorithmus.

The feeding order is daily evaluated on two farms. Informations on sows with an alarm signal were given to the farmer and he had to give a feedback concerning possible treatments of sows in the gestation house and the health status of the sows with alarm signal.

On average 1.6 alarm signals per day were detected until now. 5 % of these alarms could be explained by a treatment, abnormality or injection at the same time respectively 13 % of these during 3 days before and after alarm.

1 Einleitung

Die Gruppenhaltung von Sauen an der Abrufstation ermöglicht eine tierindividuelle Fütterung auf Basis der Einzeltiererkennung. Es steht nur ein Fressplatz für 50–60 Sauen zur Verfügung. Als Konsequenz müssen die Sauen nacheinander fressen. Die Reihenfolge, in der die Sauen ihr Futter an der Station abrufen, ist von Tag zu Tag weitgehend identisch. Es wurde festgestellt, dass Sauen mit einer Behandlung im Mittel später ihr Futter abriefen und somit weiter hinten in der Reihenfolge an die Abrufstation kamen. Dies diente als Grundlage für das „Callmatic-Gesundheitsmonitoring“. Dies soll automatisch Abweichungen von Einzeltieren in der Fressreihenfolge kennzeichnen. Die Abweichungen sollen als Hinweis auf Probleme bei der entsprechenden Sau dienen. Die vorliegende Untersuchung stellt die ersten vorläufigen Ergebnisse zur Treffgenauigkeit dieses Systems vor.

2 Bisherige Erkenntnisse

Die Fressreihenfolge ist die Reihenfolge der Sauen, in der sie jeden Tag ihre erste Futterportion an der Abrufstation abrufen. Jede Sau erhält an jedem Tag dafür eine Platzziffer. Vergleicht man die Platzziffern der einzelnen Sau von einem zum nächsten Tag, korrelieren diese zu rund 90 % (HUNTER et al., 1988; HOY et al., 2007). Die Fressreihenfolge wird beeinflusst durch den Rang, den die Sau in der Herde einnimmt, sowie ihre Parität (BOXBERGER und LEHMANN, 1988; EDWARDS et al., 1988; HUNTER et al., 1988; BRESSERS et al., 1993; HOY et al., 2007; KRUSE, 2010).

Behandlungen beeinflussen die Fressreihenfolge ebenso. Eigene Untersuchungen zeigten, dass Sauen am Tag einer Behandlung die Abrufstation später aufsuchten, um den ersten Teil ihrer Tagesration zu erhalten (HINRICHS und HOY, 2010a, b, c, 2011a, b). CORNOU et al. (2008) nutzen die Platzziffernfolge der einzelnen Sauen um mithilfe eines linearen Modelles in Kombination mit einer V-Maske auf Sauen mit gesundheitlichen Problemen hinzuweisen. Das System zeigte eine große Anzahl an Fehlalarmen.

3 Intention des Callmatic-Gesundheitsmonitorings

Das Ergebnis, dass Sauen mit einer Behandlung an diesem Tag durchschnittlich später die Abrufstation besuchten als an Tagen ohne Behandlung, führte zu der Überlegung, die Reihenfolge der Platzziffern an aufeinanderfolgenden Tagen für jede Sau automatisch zu erfassen und visuell darzustellen. Abweichungen der tagaktuellen Platzziffer in der Fressreihenfolge werden grafisch dargestellt. Bei sehr hohen Abweichungen wird ein Problem bei den Sauen vermutet. Über einen Algorithmus werden hohe Abweichungen rot markiert. Abweichungen im roten Bereich sind demnach als Alarmwerte zu verstehen, die kennzeichnen, dass die entsprechenden Sauen Störungen im Allgemeinbefinden haben könnten.

Die visuelle Darstellung ist Bestandteil des Callmatic-Gesundheitsmonitorings. Diese Auswertefunktion ist zusammen mit dem Steuerungsprogramm der Abrufstation „Call-

matic 2“ in das Managementprogramm BigFarmNet des Unternehmens Big Dutchman eingebunden.

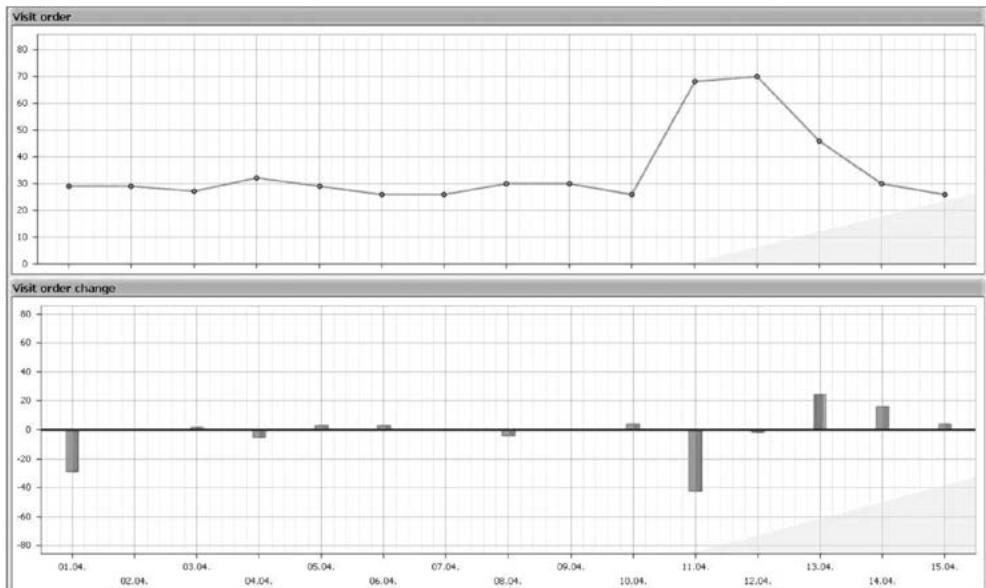


Abb. 1: Visualisierung der Besuchsnummern einer Sau an aufeinanderfolgenden Tagen im BigFarmNet
 Fig. 1: Visualisation of the visit number of one sow on consecutive days in BigFarmNet

4 Material und Methoden

Die Auswertung der Abweichungen der Besuchsreihenfolge erfolgt auf zwei Betrieben. Der hier vorgestellte Untersuchungszeitraum umfasst 49 Tage. Beide Betriebe halten ihre Sauen in dynamischen Gruppen und füttern mit 2 Abrufstationen des Typs „Callmatic 2“. Auf Betrieb A wurden 62 bis 95 Sauen (Topigs 40) und auf Betrieb B 54 bis 72 Sauen (JSR) täglich an den beiden Abrufstationen gefüttert. Die Eingänge der Abrufstation befinden sich in einer Längsachse zueinander und sind zentral von den Liegekesseln aus erreichbar.

Über die Abrufzeit der ersten Futterportion am Tag wird automatisch eine Reihenfolge erstellt und jede Sau erhält somit ihre Platzziffer (visit order). Der Verlauf der Platzziffern der vergangenen Tage für jede Sau wird visualisiert. Anhand eines Algorithmus werden die Abweichungen in einer Balkenansicht dargestellt. Große Abweichungen vom aktuellen Tag zu den vorangegangenen Tagen werden rot dargestellt. Balken mit rötlicher Färbung werden im Folgenden als Alarmmeldung bezeichnet.

Werktags wurde mittels „Teamviewer“ auf die Stallrechner der Untersuchungsbetriebe zugegriffen. Die „visit order“ wurden für jede Sau betrachtet. Die Alarmmeldungen am Wochenende wurden am Montag retrospektiv erfasst.

Sauen mit Alarmmeldung wurden dem Betriebsleiter mitgeteilt. Er hatte die Aufgabe, diese Sauen dann gezielt im Wartestall aufzusuchen und genauer auf Störungen des All-

gemeinbefindens oder Auffälligkeiten zu überprüfen. Wöchentlich gaben die Betriebsleiter Rückmeldung, wann welche Sauen Auffälligkeiten oder Behandlungen hatten.

Die Daten der Futterabrufe werden aus dem BigFarmNet in eine Tabelle exportiert. Diese umfasst das Datum, die Uhrzeit des Stationsbesuches, die Transpondernummer sowie die „Visit order“. Jede Zeile stellt den ersten Besuch einer Sau nach Futterstart am jeweiligen Tag dar. Gab es für eine Sau eine Alarmmeldung, wurde über einen Binärcode dies entsprechend gekennzeichnet.

Sauen, die behandelt wurden, wurden analog den Alarmmeldungen mit einem Binärcode für Behandlung gekennzeichnet. Zudem haben die Betriebsleiter Sauen erfasst, die auffällig waren. Auffällige Sauen wurden definiert als Sauen, die sich nicht normal verhielten, aber keinen Anlass für eine Behandlung lieferten. Als Beispiel sind hier Bissspuren oder nervöse Verhaltensweisen zu nennen. Sie könnten ein Grund sein, wenn Sauen später die Abrufstation betreten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ersten 49 Untersuchungstage dargestellt.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Verteilung der Stationsbesuche

Auf dem Betrieb A gingen 3887 Futterabrufe von 113 Sauen in die Auswertung ein. Dies bedeutet durchschnittlich 79,3 Besuche pro Tag. Für den ersten Futterabruf am Tag gingen in den 49 Tagen die Sauen häufiger an Station 2. Diese registrierte 2085 Besuche, Station 1 wurde nur in 1802 Fällen für den ersten Futterabruf einer jeden Sau am

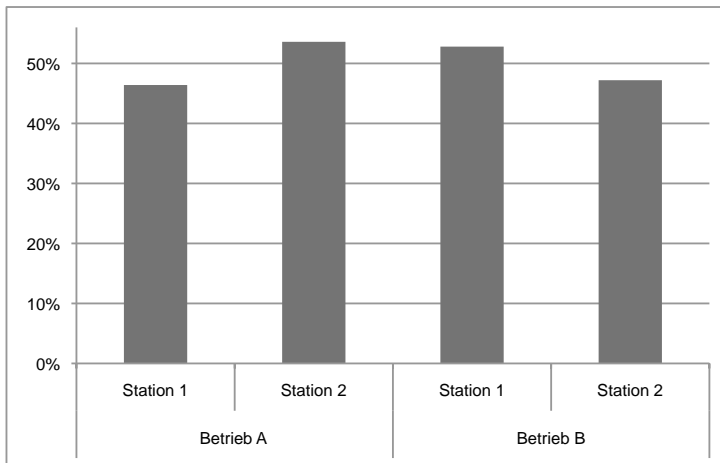


Abb. 2: Verteilung der Stationsbesuche $n = 3887$ bzw. 3232 Besuche) in den 2 Betrieben an 49 Tagen auf die beiden Abrufstationen

Fig. 2: Distribution of all feeding station visits ($n = 3,887$ eg. $3,232$ visits) in the two farms on 49 days to the two electronic sow feeders

Tag aufgesucht. An nur 7 Tagen wurde die Station 1 häufiger genutzt als Station 2. Die größte Differenz der Anzahl der Besuche für den ersten Besuch der Station jeder Sau betrug 34 Plätze. 8 Sauen waren stationstreu. Auch hierbei zeigte sich eine Präferenz der Station 2, die von 5 Tieren jeden Tag aufgesucht wurde. Bei 12 Sauen lag die Stationstreu über 90 %.

Der Betrieb B verzeichnete 3 232 Futterabrufe von 105 Sauen. Die Station 1 erfasste 1 708 Stationsbesuche. Die Station 2 hatte in den 49 Tagen 184 Besuche weniger. Die Sauen nutzten an nur 3 Tagen die Station 2 für das Abrufen ihrer ersten Futterportion häufiger als Station 1. Die größte Differenz an Stationsbesuchen lag bei 19 Besuchen. Station 1 verzeichnete 45 Besuche, Station 2 nur 26. Im Betrieb B gab es 15 stationstreu Sauen, wovon 10 Sauen ständig die Station 2 aufsuchten. 19 Sauen hatten eine Stationstreu von über 90 %.

Auf beiden Betrieben werden beide Abrufstationen etwa gleichmäßig gut angenommen. Allerdings zeigt sich auf dem Betrieb B eine gleichmäßigere Verteilung und ein deutlich größerer Anteil an stationstreuen Sauen.

5.2 Korrelationen der Platzziffer

Für jede Sau ist ein Wertepaar der Platzziffer in der Fressreihenfolge vom aktuellen Tag und vom Vortag gebildet worden. Hieraus wurde die Korrelation der Besuchsnummer errechnet. Für den Betrieb A beträgt diese $r = 0,845$ und für den Betrieb B $r = 0,898$. Beide Korrelationskoeffizienten sind signifikant. In Betrieb A erhält zu 84,5 % die Sau morgen die gleiche Platzziffer wie heute und in Betrieb B sogar zu fast 90 %. Diese Korrelationen decken sich mit den bisher ermittelten Ergebnissen (HUNTER et al., 1988; HOY et al., 2007; HINRICHS und HOY, 2010a).

Die Platzziffer spiegelt in etwa den Besuchszeitpunkt an der Abrufstation wider. Eine hohe Korrelation bedeutet demnach auch, dass die Sauen fast immer zum gleichen Zeitpunkt die Station zum Futterabruf aufsuchen. Ist die Reihenfolge an der Abrufstation sehr stabil, was eine hohe Korrelation ausdrückt, so kann auch ein Rückschluss auf die „Ruhe“ in der Gruppe geschlossen werden, denn in einem gewissen Teil spiegelt sich die Hierarchie der Herde auch in der Fressreihenfolge wieder. Ist die Hierarchie klar und eindeutig geklärt kann dies im Umkehrschluss bedeuten, dass die Fressreihenfolge auch sehr konstant ist. Eine klar geklärte Hierarchie in der Herde bedeutet weniger Rankämpfe und somit mehr Ruhe.

Eine weitere Erklärung für den höheren Korrelationskoeffizienten auf Betrieb B könnte die Anzahl der stationstreuen Sauen sein, denn in Betrieb B ist der Wert auch sehr viel höher. Dies könnte ebenfalls darauf hindeuten, dass die Hierarchie in der Herde dort ausgeprägter ist. Jede Sau hat „ihre“ Station und wechselt nicht so oft, um nicht mit Sauen der anderen Station in einen Konflikt zu geraten.

Die Differenz der Korrelationskoeffizienten für die Platzziffer auf den beiden Betrieben unterstützt den subjektiven Eindruck, dass die Herde auf Betrieb B insgesamt ruhiger ist als auf Betrieb A. Einschränkend muss hier angefügt werden, dass für die „Ruhe“ in der Gruppe auch die Herdengröße und die Genetik verantwortlich sein kann.

5.3 Callmatic-Gesundheitsmonitoring

Anzahl der Alarmmeldungen

Es wurden die Alarmmeldungen zu der entsprechenden Sau und dem Datum über einen Binärcode als Variable zu den Besuchsnummern hinzugefügt. Für Betrieb A wurden in den 49 Tagen 39 Alarmmeldungen und für den Betrieb B 120 Abweichungen der „normalen“ Besuchszeit der Sau festgestellt. Im Mittel wurden somit 1,6 Alarme am Tag registriert. Hier ist aber eine deutliche Spanne zwischen den Betrieben vorhanden: Im Betrieb A waren es durchschnittlich 0,8 Meldungen pro Tag. Dies bedeutet, dass nicht einmal jeden Tag eine Sau genauer in Augenschein genommen werden musste. Im Betrieb B traten dagegen 2,5 Meldungen pro Tag auf. Von den insgesamt 159 Alarmmeldungen konnten 12 dem Betriebsleiter auf Betrieb A und 50 dem Betriebsleiter auf Betrieb B am selben Tag mitgeteilt werden. Die anderen Abweichungen wurden an den Wochenenden oder Feiertagen sowie Tagen ohne Zugriff ermittelt.

Für die Praxis bedeutet dies, dass im Mittel 1,5 Sauen am Tag oder jeden Tag eine bzw. zwei Sauen vom Betriebsleiter gezielt aufgesucht werden, um diese genauer zu kontrollieren. Der Aufwand für die Kontrolle dieser Alarmmeldungen ist als gering einzustufen. Zudem bedingt ein gezieltes Suchen nach 1 oder 2 Sauen in der Herde am Tag, dass der Tierhalter sich in der Gruppe aufhält und eventuell die eine oder andere Sau mit Problemen dadurch früher auffällt.

Die Unterschiede zwischen den Betrieben könnten durch die Unterschiede in der Korrelation der Platzziffer sowie in der Gruppengröße begründet werden. In einer kleinen Gruppe mit einer hohen Korrelation der Platzziffer fallen kleinere Abweichungen mehr ins Gewicht als bei einer größeren Gruppe mit einer niedrigeren Korrelation. Der Grund hierfür ist, dass bei einer Betrachtung über einen Zeitraum mit mehr Schwankungen in den Platzziffern diese als normal betrachtet werden. Somit muss die Abweichung der aktuellen Platzziffer zu den vorherigen auch höher ausfallen als die „normalen“ Schwankungen dieser Sau, um einen Alarmwert auszulösen.

Treffsicherheit der Alarmmeldungen

Auf dem Betrieb A gab es in dem Untersuchungszeitraum 22 Behandlungen und 6 auffällige Sauen. Eine Behandlung erfolgte am selben Tag wie die Alarmmeldung für diese Sau. 4,5 % der Behandlungsfälle stimmten mit einer Alarmmeldung überein. Es führten aber nur 2,5 % der Alarmmeldungen zu einer Behandlung und somit zu einer Begründung des Abfalles der Platzziffer über den Alarmgrenzwert.

Auf dem Betrieb B hingegen war die Trefferquote höher. Es wurden 28 Behandlungen gemeldet. 6 davon waren am selben Tag, an dem für die entsprechende Sau auch eine Alarmmeldung ausgegeben wurde. Somit waren 21,4 % der behandelten Sauen gleichzeitig durch einen starken Abfall der Platzziffern über die Alarmgrenze zu charakterisieren. Von den insgesamt 120 Alarmmeldungen machen die 6 Behandlungen allerdings nur eine Trefferquote von 5 % aus. Der Betrieb meldete allerdings auch noch 3 auffällige Tiere, wovon eines an dem entsprechenden Tag auch einen Alarmwert zeigte. Somit können zu den 5 % noch 0,8 % hinzukommen.

Auf dem Betrieb B gab es bei einigen Sauen eine Coli-Impfung. Am Impftag kamen 2 dieser Tiere sehr viel später als sonst an die Abrufstation und erhielten somit eine Alarmmeldung. Dies kann mit dem zeitlichen Ablaufplan der Impfung zusammenhän-

gen. Wahrscheinlich wurden die Sauen zu dem Zeitpunkt geimpft, in dem sie normalerweise gefressen hätten. Dadurch kann die Abweichung begründet werden.

Zusätzlich wurden die Behandlungen und Auffälligkeiten bei den entsprechenden Tieren 3 Tage vor und zurück datiert. Somit konnte überprüft werden, ob in diesem Zeitraum von 7 Tagen eine Alarmmeldung bei der entsprechenden Sau ausgegeben wurde. Bei Betrieb A zeigte sich, dass 1 Sau 1 Tag vor ihrem Behandlungstag eine Alarmmeldung hatte. Wenn der Zeitraum vor der Behandlung mitgezählt wird, können 5 % der Alarme auf Betrieb A eine Behandlung nach sich gezogen haben.

Bei Betrieb B zeigte 1 Sau 2 Tage vor ihrer registrierten Auffälligkeit einen Alarmwert. Von den behandelten Tieren zeigte 1 Sau schon 3 Tage vorher eine Alarmmeldung an, 2 Sauen reagierten 2 Tage vor ihrer Behandlung und 5 Sauen hatten 1 Tag vor ihrer Behandlung eine starke Abweichung in der Platzziffer, die zu einem Alarmwert führte. Zudem zeigten 2 Tiere 1 Tag nach der Behandlung und 1 Tier 2 Tage nach der Behandlung noch eine starke Veränderung ihrer Fresszeit und somit einen Alarmwert. Geht man von 17 Alarmmeldungen aus, die in dem Zeitraum 3 Tage vor, am Behandlungstag und 3 Tage nach der Behandlung ausgegeben wurden, macht dies einen Anteil von 14,1 % der Gesamtalarme bei Betrieb B aus. Immerhin gingen aber 60,7 % der Behandlungen mit einem Alarm in diesem Zeitraum einher. Eine Reaktion auf die Impfung konnte ebenfalls festgestellt werden. 3 Sauen fraßen am Tag nach ihrer Coli-Behandlung wesentlich später und erreichten die Alarmschwelle. Dies entspricht 33,3 % der 10 geimpften Sauen.

Die Trefferquote der Alarmmeldungen ist auf beiden Betrieben sehr gering. Auf Betrieb B ist die Trefferquote deutlich höher als auf Betrieb A. Dies könnte durch die höhere Korrelation der Platzziffer begründet sein. Weitet man den Beobachtungszeitraum um 3 Tage vor oder nach der Behandlung aus um zu überprüfen, ob es hier noch eine Alarmmeldung gab, konnte eine Trefferquote von 14,1 % erreicht werden. Hier muss berücksichtigt werden, dass die Alarmmeldungen vor dem Behandlungstag dem Betriebsleiter eventuell nicht bekannt gewesen waren, weil sie nicht an einem Werktag erfasst wurden. Vielleicht wäre bei diesen Sauen eine Behandlung schon eher erfolgt.

Festzuhalten ist, dass an dem Korridor für die normative Platzziffer und deren Einflussgrößen noch Korrekturen vorzunehmen sind. Diese allerersten Auswertungen zeigen, dass die Korrelation der Platzziffer auf dem Betrieb einen Einfluss haben kann; sowohl in der Anzahl der Alarmmeldungen als auch in der Trefferquote. Allerdings sollte man den Anreiz nicht vergessen, dass bei Alarmmeldungen für gesundheitliche Probleme einzelner Sauen der Betriebsleiter angehalten wird, diese Sauen gezielt aufzusuchen. Es ist zumutbar, im Mittel 1 bis 2 bestimmte Sauen am Tag genau zu betrachten. Zudem hält der Tierbetreuer sich in dieser Zeit im Wartestall auf und könnte Sauen detektieren, die keinen Alarmwert zeigten, aber auffällig sind, weil sie zufällig im gleichen Liegekessel als die zu suchende Sau waren.

Literatur

- Bressers, H. P. M.; TeBrake, J. H. A.; Engel, B.; Noordhuizen, J. P. T. M. (1993): Feeding order of sows at an individual electronic feed station in dynamic group-housing system. *Applied Animal Behaviour Science*, 36, 123–134
- Boxberger, J.; Lehmann, B. (1988): Verhalten von tragenden Sauen an Abrufstationen, *Landtechnik*, 5/88, 234–236
- Cornou, C.; Vinther, J.; Kristensen, A. R. (2008): Automatic detection of oestrus and health disorders using data from electronic sow feeders. *Livestock Science*, 105, 262–271
- Edwards, S. A.; Armsby, A. W.; Large, J.W. (1988): Effects of feed station design on the behaviour of group-housed sows using an electronic individual feeding system. *Livestock Production Science*, 19, 511–522.
- Hinrichs, B.; Hoy, S. (2010a): Kranke Sauen kommen später zum Fressen – Ergebnisse einer ersten statistischen Analyse. *Landtechnik*, 4.2010, 272–275
- Hinrichs, B.; Hoy, S. (2010b): Mittels Futterstation kranke Tiere finden?, *DGS-Magazin*, 31, 47–50
- Hinrichs, B.; Hoy, S. (2010c): Untersuchungen zur Variabilität der Freßreihenfolge von Sauen an Abrufstationen. *Vortragstagung der DGfZ und GfT*, 46–47
- Hinrichs, B.; Hoy, S. (2011a): Fresszeiten für Tierkontrolle nutzen, *dlz Agrarmagazin Primus Schwein*. 01, 16–19
- Hinrichs, B.; Hoy, S. (2011b): Fresszeiten an Abrufstationen zur Kontrolle der Sauengesundheit. *Nutztierpraxis aktuell*, 36, 24–26
- Hoy, S.; Weirich, C.; Krauss, V. (2007): Untersuchungen zum Sozialverhalten von Sauen an elektronischen Abrufstationen. *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung, KTBL-Schrift* 461, 186–193
- Hunter, E. J.; Broom, D. M.; Edwards, S. A.; Sibly, R. M. (1988): Social hierarchy and feeder access in a group of 20 sows using a computer-controlled feeder. *Animal Production*, 47, 139–148
- Kruse, S. (2010): Water and feed intake of sows – patterns during lactation and gestation and the potential for process control. *PhD-thesis, CAU Kiel*

Untersuchung mit Thermo-Injektaten bei Ziegen zur Eignung von zwei Applikationsorten, zum Vergleich von zwei Messsystemen sowie bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur

Research in goats with bio-thermo-transponders and evaluation of two application points, two measurement systems and different ambient temperature

GRACIA UDE, HEIKO GEORG, ANJA SCHWALM

Institut für Ökologischen Landbau, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland

Schlüsselwörter: Ziegen, Rektaltemperatur, subkutane Temperatur, Injektat, Ökologischer Landbau
 Keywords: goat, rectal temperature, subcutaneous temperature, injectable transponder, organic farming

Zusammenfassung

Die Erfassung der Körpertemperatur kann der Früherkennung von Krankheiten dienen. Dieses erfolgt üblicherweise manuell über die Rektaltemperatur.

Ziel dieser Studie war die Überprüfung von zwei Applikationsorten von Bio-Thermo-Injektaten am Ohrgrund und in der Schwanzfalte bei zehn Ziegen. Für eine Vergleichsmessung wurden die Temperaturen zunächst mit zwei verschiedenen Messsystemen erfasst (Pocket-Reader und Datenlogger). Parallel wurde jeweils die Rektaltemperatur erfasst. Anschließend wurden mit einem Messsystem Daten im Sommer und im Winter erfasst. In Abhängigkeit der Umgebungstemperatur zeigten sich unterschiedliche Differenzen zur Rektaltemperatur und verschiedene Standardabweichungen.

Summary

The measurement of body core temperature is a helpful tool for the early recognition of diseases in goats. Up to now, temperature measurement is almost done manually measuring rectal temperature.

The objective of our study was the evaluation of injectable transponders with temperature sensing option in goats. In the study injectable transponders with temperature sensor were tested in ten goats at the base of the left ear and at the skin fold of tail. The temperature values of the transponders were recorded using a data logger and a pocket-reader. Rectal temperature was measured simultaneously. Later the data logger was tested in summer and winter. In dependence of seasons rectal temperature and subcutaneous temperature showed different standard deviations.

1 Einleitung und Zielsetzung

In 2010 traten europaweit die neuen Regelungen zur elektronischen Kennzeichnung von Schafen und Ziegen in Kraft. Da Schaf und Ziege eine Sonderstellung haben, weil sie in der Landschaftspflege eingesetzt werden und damit in schwierigem Gelände, werden tierschutzrelevante Verletzungen wie aufgeschlitzte Ohren bei der Nutzung von elektronischen Ohrmarken befürchtet. Eine mögliche Alternative wäre die Kennzeichnung mit einem Injektat.

Daher war das Ziel dieser Studie die Überprüfung, ob sich zwei unterschiedliche Applikationsorte für eine subkutane Körpertemperaturmessung bei Ziegen eignen. Damit könnte die elektronische Tierkennzeichnung über die reine Tieridentifikation zur Krankheitsfrüherkennung und damit für die Tiergesundheitsüberwachung genutzt werden.

2 Tiere, Material und Methoden

Der Versuch wurde am Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst (vTI) mit 10 Ziegen der Rasse Bunte Deutsche Edelziege durchgeführt. Am 18.02.09 wurde je ein Injektat mit Temperatursensor („Bio-Thermo“) subkutan appliziert: Am linken Ohr in die Ohrbasis und in die Schwanzfalte. Im März 2009 und im Oktober 2009 wurde je eine Ziege geschlachtet. Daher wurde im September 2009 zwei weiteren Ziegen je ein Injektat in die Schwanzfalte injiziert, um weiterhin eine Gruppe von zehn Tieren begutachten zu können. Allerdings wurde bei den zwei Tieren auf die Applikation im Ohr verzichtet, weil der Ohrgrund zu diesem Zeitpunkt bereits als ungeeignet eingestuft wurde.

Die Injektate „Bio-Thermo“, von der Firma Destron Fearing für Versuchszwecke zur Verfügung gestellt, hatten eine Größe von ca. 14,5 × 2,1 mm und können subkutan oder intramuskulär injiziert werden; die Elektronik ist von einer Glashülle umschlossen. Der „Bio-Thermo“-Chip ermöglicht eine individuelle Identifikation des Tieres über einen 15-stelligen Code und ist mit einem Temperatursensor zur Messung der subkutanen Körpertemperatur ausgestattet.

Das System besteht aus einer Kennung und einem Leser. Die Kennung enthält einen passiven Transponder (ein Mikrochip ohne Energiequelle), der die gespeicherten Informationen überträgt, wenn der Leser (ein Sende-Empfänger) ihn auf einer bestimmten Frequenz aktiviert. Durch ISO-Normen werden sowohl die Struktur der Tiernummer (ISO 11784) als auch die Funktionsweise des Transponders (ISO 11785) geregelt, sodass durch die Kombination von Ländercode (ISO 3166) und der nationalen Tiernummer jedem Tier eine weltweit einmalige Nummer zugeordnet werden könnte.

Als Datenlesegeräte zur Erfassung der subkutanen Körpertemperatur wurden zwei unterschiedliche Reader eingesetzt:

Bei dem Destron Universal Pocket-Reader EX®, der ebenfalls zur Verfügung gestellt wurde, handelte es sich um einen Handleser, der beim Aktivieren des Geräts durch Knopfdruck die Chip-Nummer und die Körpertemperatur im Display zeigte. Eine Datenübertragung über ein Datenkabel wäre möglich gewesen.

Als zweites Lesegerät kam ein vom Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des vTI entwickeltes Gerät zum Einsatz. Dieses System bestand aus einer Ringan-

tenne, die über ein ca. 1,5 m langes Kabel an einen Datenlogger angeschlossen war und in frei wählbaren Intervallen die Körpertemperatur abspeichern kann. Dieses System wurde für einen früheren Versuch zur Erfassung der Körpertemperatur von Milchkühen am Ohrgrund entwickelt.

Für die rektalen Messungen wurde ein digitales Fieberthermometer (VT 1831 der Firma microlife®) aus dem Veterinärbereich eingesetzt, mit einer Schnellmessung, die nur 10 Sekunden benötigt.

2.1 Datenerhebung

Die Erfassung der subkutanen Körpertemperatur erfolgte in der ersten Messperiode zunächst parallel mit dem Pocket-Reader und Datenlogger. Da es der Firma Destron Fearing nicht möglich war, die Umrechnung der Daten darzulegen, wurden die Daten in der zweiten und dritten Messperiode ausschließlich mit dem Datenlogger des vTI erfasst.

Die hier dargestellte Datenerfassung gliederte sich in die Messperioden Frühjahr, Sommer und Winter 2009. Jede Messperiode bestand aus sieben Messzeitpunkten.

In der Messperiode im Frühjahr 2009 wurde zu jedem Messzeitpunkt jeder Wert in siebenfacher Wiederholung aufgenommen.

Erfasst wurde bei den zehn Ziegen die subkutane Körpertemperatur am Ohrgrund und in der Schwanzfalte sowie die Rektaltemperatur. Als Vergleichsmessung kamen beide Messsysteme (Pocket-Reader und Datenlogger) zum Einsatz.

Im Sommer (Juli) 2009 wurde bei neun Ziegen die subkutane Körpertemperatur in der Schwanzfalte und die Rektaltemperatur in der Sonne und im Schatten erfasst. Die subkutanen Körpertemperaturen wurden in sechsfacher, die rektalen aufgrund niedriger Standardabweichung in dreifacher Wiederholung erfasst. Die Ziegen wurden zunächst für eine Stunde in die Sonne gesperrt bevor die Messung durchgeführt wurde. Nach einer Stunde im Schatten wurde erneut die Körpertemperatur erfasst. Aus Tierschutzgründen wurden die Ziegen nicht länger als eine Stunde in die Sonne gesperrt.

Im Winter (Dezember 2009 und Januar 2010) wurde bei sechs Ziegen die subkutane Körpertemperatur in der Schwanzfalte sowie die Rektaltemperatur erfasst. Die subkutanen Daten wurden in sechsfacher, die rektalen Werte in dreifacher Wiederholung aufgenommen. Die Körpertemperatur wurde zunächst im Stall erfasst. Anschließend wurden die Ziegen in den Auslauf gesperrt und deren Körpertemperatur wurde alle 10 Minuten über eine Dauer von einer Stunde in festgelegter Reihenfolge gemessen.

Da die Körpertemperatur tierindividuell ist, erfolgte eine Einzeltierbetrachtung der Messwerte. So wurden die Standardabweichungen tierindividuell innerhalb jeder Variante je Messort und je Messzeitpunkt ausgewertet und die Mittelwerte je Messort berechnet. Zusätzlich wurden die Differenzen zwischen rektaler Temperatur und subkutaner Temperatur je Variante, Tier und Messort berechnet und anschließend die Mittelwerte gebildet. Es wurde eine deskriptive Statistik durchgeführt.

3 Ergebnisse

Bereits zwei Wochen nach Applikation war ein Injektat am Ohrgrund nicht mehr lesbar. Eine Funktionskontrolle im Mai 2011 zeigte nur noch acht (von zehn) lesbare Injektate in der Schwanzfalte und vier (von acht) lesbare Injektate am Ohrgrund.

Die Datenerfassung im Frühjahr erfolgte bei einer Umgebungstemperatur von durchschnittlich 14 °C. Dargestellt in Tabelle 1 sind die mittleren Differenzen zwischen der Rektaltemperatur und der subkutanen Temperatur in Abhängigkeit von Reader und Applikationsort.

Tab. 1: Mittlere Differenzen zwischen Rektal- und Subkutantemperatur je Reader

Tab. 1: Mean variation between rectal and subcutaneous temperature and reader

Ohrmarke	Differenzen zwischen Körpertemperatur rektal und subkutan			
	Pocket Reader		Ringantennen-Logger	
	Ohrgrund [°C]	Schwanzfalte [°C]	Ohrgrund [°C]	Schwanzfalte [°C]
268	1,47	2,67	1,82	3,35
274	3,11	0,08	3,47	0,86
275	1,30	0,59	1,84	1,62
283	1,97	0,77	2,79	1,81
285	0,74	1,04	1,12	1,36
309	1,26	1,10	1,82	1,95
311		0,61		1,43
314	1,73	2,04	2,17	3,09
337	2,72	6,76	2,73	7,48
801	1,89	1,10	2,38	2,34

Die mittleren Differenzen zwischen der Rektaltemperatur und subkutanen Temperatur zeigen, dass die Rektaltemperatur zwischen 0,61 °C bis 7,48 °C höher ist als die subkutane. Eine Ausnahme bildet die Ziege 274, hier waren bei der Schwanzfalte zwei einzelne Messwerte höher als die Rektaltemperatur. Die Differenzen sind bezogen auf das Tier unterschiedlich groß.

Die niedrigsten Standardabweichungen zeigte die Rektaltemperatur mit Abweichungen >0,1 °C, gefolgt vom Datenlogger mit Werten zwischen 0,05 °C und 0,40°C, die größten der Pocket-Reader mit 0,11 °C und 0,53 °C (Tab. 2).

Tab. 2: Standardabweichung von Rektal- und Subkutantemperatur und Reader
 Tab. 2: Standard deviation of rectal and subcutaneous temperature and reader

Ohrmarke	rektal stdev [°C]	Pocket Reader		Ringantennen-Logger	
		Ohrgrund stdev [°C]	Schwanzfalte stdev [°C]	Ohrgrund stdev [°C]	Schwanzfalte stdev [°C]
268	0,026	0,121	0,237	0,090	0,064
274	0,026	0,526	0,199	0,084	0,181
275	0,051	0,116	0,142	0,064	0,404
283	0,075	0,287	0,243	0,072	0,219
285	0,035	0,136	0,214	0,051	0,064
309	0,060	0,168	0,234	0,084	0,130
311	0,040		0,239		0,088
314	0,033	0,141	0,199	0,099	0,171
337	0,040	0,105	0,207	0,122	0,227
801	0,032	0,135	0,126	0,068	0,381

Die Datenerfassung im Sommer erfolgte bei einer Umgebungstemperatur in der Sonne zwischen 23 °C und 43 °C.

Nach 60 Minuten in der Sonne lag die mittlere rektale Körpertemperatur bei den neun Ziegen zwischen 40,4 °C und 41,0 °C und die subkutane Temperatur in der Schwanzfalte zeigte Werte zwischen 39,3 °C und 40,4 °C (Abb. 1).

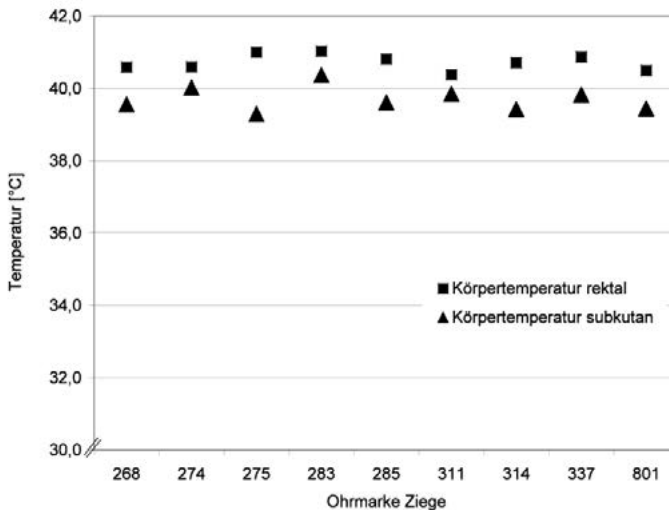


Abb. 1: Tierindividuelle mittlere rektale und subkutane Körpertemperatur im Sommer bei starker Sonneneinstrahlung

Fig. 1: Mean of rectal and subcutaneous temperature in summer and sunshine per goat

Nach 60 Minuten im Schatten zeigte die Rektaltemperatur Werte zwischen 39,1 °C und 39,6 °C und die subkutane an der Schwanzfalte zwischen 36,9 °C und 38,2 °C (Abb. 2).

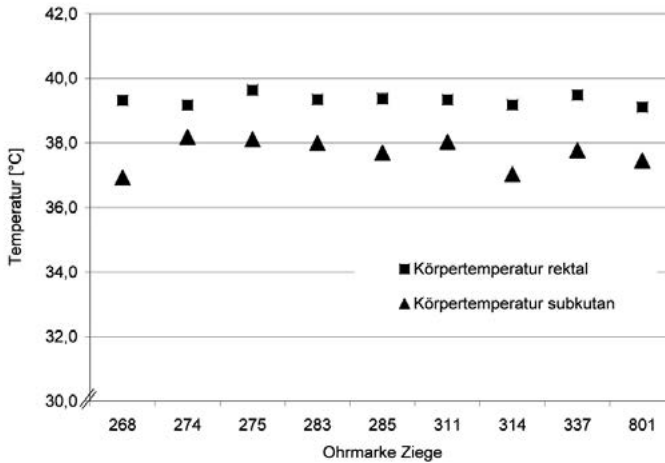


Abb. 2: Mittlere rektale und subkutane Körpertemperatur im Sommer im Schatten je Ziege
 Fig. 2: Mean of rectal and subcutaneous temperature of individual goats during summer with shade provided

Die Standardabweichung lag bei den subkutanen Körpertemperaturen (Tab. 3) bei den Sonnen- und Schattenmessungen zwischen 0,07 °C und 0,27 °C.

Tab. 3: Standardabweichung der Subkutantemperatur in Sonne und Schatten
 Tab. 3: Standard deviation of subcutaneous temperature in sunshine and shadow

Ohrmarke	Ringantennen-Logger	
	Schwanzfalte Sonne stdev [°C]	Schwanzfalte Schatten stdev [°C]
268	0,092	0,068
274	0,084	0,106
275	0,272	0,218
283	0,161	0,193
285	0,113	0,200
311	0,078	0,175
314	0,111	0,179
337	0,168	0,161
801	0,165	0,258

Die Rektaltemperatur im Winter, hier nicht dargestellt, variierte innerhalb der 70 Minuten maximal um 0,5 °C. Die Differenzen zwischen rektaler und subkutaner Temperatur zeigten höhere Werte als im Frühjahr oder Sommer und betragen zwischen 3,8 °C und 10,4 °C (Tab. 4).

Die subkutane Körpertemperatur der Schwanzfalte fiel bei extremer Witterung soweit ab, dass das Lesegerät bei fünf von sechs Tieren keine Messwerte mehr aufzeichnen konnte, da technisch bedingt nur Werte ab 25,0 °C erfasst werden können. Daher fehlen bei der Ziege 283 und 311 die Werte im fünften Messzyklus ab 40 Minuten, bei der Ziege 285 beim fünften Messzyklus ab 50 Minuten und bei der Ziege 314 ab 30 Minuten. Die wenigsten Daten konnten bei Ziege 337 erfasst werden. Hier fehlen die Daten ab dem 5. Messzyklus und jeweils ab 20 bis 30 Minuten.

Auch bei der Standardabweichung wurde eine größere Streuung ermittelt, die zwischen 1,4 °C und 3,9 °C lag (Tab. 5).

Tab. 4: Mittlere Differenzen zwischen Rektal- und Subkutantemperatur im Winter

Tab. 4: Mean variation between rectal and subcutaneous temperature during winter

Ohrmarke	Differenzen zwischen Körpertemperatur rektal und subkutan [°C]						
	im Stall	im Auslauf nach					
		10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
275	5,07	5,59	5,57	7,19	6,40	6,90	7,95
283	3,82	5,29	6,77	7,86	6,72*	7,59*	8,57*
285	3,83	4,68	5,31	6,40	7,40	6,26*	7,30*
311	3,76	4,76	6,01	6,47	5,99*	6,47*	6,42*
314	5,33	7,20	8,26*	9,11*	10,41*	9,82*	9,54*
337	7,71	9,28	8,25*	9,15*	9,74*	9,43*	9,88*

* fehlende Werte

Tab. 5: Standardabweichung Subkutantemperatur im Winter

Tab. 5: Standard deviation of subcutaneous temperature during winter

Ohrmarke	stdev [°C]						
	im Stall	im Auslauf nach					
		10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
275	2,053	2,115	2,680	2,694	2,315	2,991	2,993
283	1,872	1,380	3,080	3,126	2,500	2,207	2,349
285	1,567	1,983	1,364	2,421	2,728	1,655	2,321
311	2,250	1,993	2,862	3,706	2,881	2,985	3,941
314	2,347	2,503	2,039	1,777	1,973	2,124	2,999
337	2,243	3,401	3,140	2,544	2,495	2,965	2,701

Weitere Ergebnisse und Korrelationen sind in UDE et al. (2011) dargestellt.

4 Diskussion

In einer Untersuchung von GOODWIN (1998) wurde bei Ziegen das Injektat in die Achselhöhle appliziert. Die Ergebnisse zeigen nur eine kleine Differenz von 0,2 °C zwischen der rektalen und subkutanen Körpertemperatur, wobei die subkutane Körpertemperatur die höheren Werte lieferte. Werden die Injektate in die Achselhöhle appliziert, kann der

Einfluss der Außentemperatur ausgeschlossen werden und eignet sich daher für die Erfassung der Körpertemperatur. Allerdings ist die Rückgewinnung der Injektate auf dem Schlachthof erschwert.

Eine Untersuchung von KAMANN et al. (1999) beschäftigte sich mit 15 Kälbern. Die Injektate wurden unter dem Skutulum, d.h. subkutan unter dem Dreiecksknorpel am Ohransatz, injiziert. Die Korrelation zwischen rektal und Skutulum betrug $r = 0,82$. Ab der zweiten bis zur zehnten Versuchswoche war die subkutane Temperatur um durchschnittlich $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ niedriger als die rektale Körpertemperatur.

In einer Untersuchung von UDE et al. (2010) mit zwölf Bullenkälbern lagen $97,0\%$ der subkutanen Körpertemperaturen des Halses, $79,3\%$ des Ohrgrunds und $96,0\%$ der Ohrbasis unterhalb der Rektaltemperatur. Die mittleren Differenzen zwischen rektaler und subkutaner Körpertemperatur des Dreiecksknorpels lagen mit $0,49\text{ }^{\circ}\text{C}$ unter den Differenzen der anderen beiden Injektionsorte mit Werten zwischen $0,96$ und $1,27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

In der dargestellten Untersuchung wurden die Ohrbasis und die Schwanzfalte gewählt. Der Ohrgrund wurde nur bei den ersten Messungen untersucht, weil die Ohrbasis bei Rankkämpfen oder im Zusammenhang mit Gittern zu exponiert und damit anfällig war. Bei den Differenzen zwischen der rektalen und subkutanen Körpertemperatur waren größere Unterschiede zu verzeichnen als in den oben genannten Untersuchungen. Neben der Erfassung der Körpertemperatur wurde auf eine Praktikabilität bei der Rückgewinnung am Schlachthof geachtet.

5 Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die Injektate im Sommer, wenn die rektale Körpertemperatur steigt oder fällt, dem Temperaturverlauf folgen. Allerdings stellte sich heraus, dass die Ringantenne im Winter die Schwanzfalte belüftet. Statt einer Ringantenne wurde daher in den folgenden Messperioden (Kältemessung, Melkstand) ein Stick-Reader eingesetzt, der berührungslos messen kann.

Literatur

- Goodwin, S. D. (1998): Comparison of body temperatures of goats, horses, and sheep measured with a tympanic infrared thermometer, an implantable microchip transponder, and a rectal thermometer. *Contemp Top in Lab Anim Sci* 37, 51–55
- Kamann, B.; Klindtworth, K.; Wendl, G.; Kraetzl, W.-D.; Schön, H.; Hartung, J. (1999): Automatische Gesundheitsüberwachung mit Hilfe von injizierbaren Temperaturtranspondern in der Kälberaufzucht. In: *Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming*. Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan, 249–254
- Ude, G.; Georg, H.; Bender, S.; Schwalm, A. (2011): Eignung von Thermo-Injektaten zur elektronischen Tierkennzeichnung und Körpertemperaturerfassung bei Ziegen, *Landbau-forschung*, in press
- Ude, G.; Georg, H.; Schwalm, A. (2010): Elektronische Tierkennzeichnung bei Bullenkälbern mit Injektaten und Temperatursensoren. *Landtechnik* 65(1), 31–33

Lesereichweiten von Transpondersystemen für die Schaf- und Ziegenkennzeichnung

Read distance of transponder systems for electronic tagging of sheep and goats

ULRIKE BAUER¹, FLORIAN GRANDL¹, JAN HARMS¹, SUSANNE GÄCKLER², MICHAEL EISE²,
GEORG WENDL¹

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Prof.-Dürnwächter-Platz 2, 85586 Poing-Grub, Deutschland

² Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), Max-Eyth-Weg 1, 64823 Groß-Umstadt, Deutschland

Schlüsselwörter: Lesereichweite, Elektronische Identifikation, RFID, Transponder, Lesegeräte
Keywords: reading distance, electronic identification, RFID, transponder, reader

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden Lesereichweiten von 16 Transpondern für die elektronische Schaf- und Ziegenkennzeichnung und neun Handlesegeräten unter Laborbedingungen untersucht. Neben der Ausrichtung von Transponder und Lesegerät zueinander beeinflussten sowohl das Lesegerät und der Transponder als auch die Kombination von beiden die Reichweite.

Die mittlere Lesereichweite in optimaler Ausrichtung von Lesegerät und Transponder zueinander betrug $25,3 \pm 7,7$ cm. Abhängig von der Kombination waren Reichweiten von 13,1 bis 52,5 cm zu beobachten.

Insgesamt erreichen nahezu alle Kombinationen Reichweiten, die für den Praxiseinsatz als ausreichend gelten. Für Anwendungen, die eine maximale Lesereichweite erfordern, sollten jedoch gut abgestimmte Kombinationen gewählt werden.

Summary

In this study, nine handheld readers and 16 transponders for electronic animal identification were used to evaluate reading distances under laboratory conditions. Besides the orientation of transponder and reader to each other, both reader and transponder and their interaction had significant influence on the performance.

The average reading distance in optimum orientation of reader and transponder was 25.3 ± 7.7 cm. Depending on the particular combination, reading distances were in the range of 13.1 to 52.5 cm.

Nearly all combinations were found to reach reading distances which are satisfactory for on-farm use. When maximum reading distance is necessary specific transponder-reader combinations with above-average performance should be chosen.

1 Einleitung und Zielstellung

In einem dreijährigen Versuch zur elektronischen Einzeltierkennzeichnung bei Schafen und Ziegen wurden verschiedene Kennzeichnungsmedien, Lesegeräte sowie Herdenmanagementprogramme untersucht, um Empfehlungen für den praktischen Einsatz geben zu können. Neben den durchgeführten Feldtests zur Verträglichkeit und Funktionalität der Kennzeichnungsmedien sowie der Praktikabilität der Lesegeräte und Managementprogramme wurde ein Labortest zur Lesereichweite durchgeführt. Dazu wurden neun unterschiedliche Lesegeräte und 16 verschiedene Kennzeichnungsmedien verwendet. Ziel dieses Versuchs war es, Informationen über die Lesereichweite verschiedener Kombinationen von Kennzeichnungsmedium und Lesegerät sowie unterschiedlicher Orientierungen der Medien zueinander unter standardisierten Laborbedingungen zu erlangen.

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen der Lesereichweiten wurden in einem funkentstörten RFID-Testraum von der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) durchgeführt. Es wurden neun unterschiedliche im Handel verfügbare Handlesegeräte (R1–R9) in Kombination mit 16 verschiedenen Kennzeichnungsmedien (12 Ohrmarken, OM1–OM12, 4 Panzenboli, B1–B4) getestet. Elf der Kennzeichnungsmedien waren mit einem full-duplex Transponder (FDX) ausgestattet und fünf mit einem half-duplex Transponder (HDX). Alle Kennzeichnungsmedien und Lesegeräte entsprachen den Vorschriften der ISO 11784 und 11785.

In einem Vorversuch wurde mit je einem ISO-konformen HDX- und FDX-Transponder aus den neun Lesegeräten das mit der besten und mit der schwächsten Reichweite ermittelt. Für die Auswahl der Test-Transponder wurden jeweils 50 Kennzeichnungsmedien eines Typs mit dem schwächsten Lesegerät untersucht. „Ausreißer“ mit einer Abweichung der Lesereichweite von > 1 cm vom Mittel wurden mit dem stärksten Lesegerät gegengetestet. Somit wurden jeweils 16 Kennzeichnungsmedien je Typ ausgewählt und für den eigentlichen Reichweitentest an jedem der neun Lesegeräte verwendet.

Die Messungen erfolgten in cm-Schritten in verschiedenen Ausrichtungen von Transponder und Lesegerät zueinander in Anlehnung an ISO 24631-4 (Abb. 1). Es wurden abweichend von der ISO 24631-4 zusätzliche Messungen bei verschiedenen Ausrichtungen des Lesegerätes sowie weiteren Messpunkten ($L/2$, -30° , -60° und -90°) durchgeführt. Durch diesen Messaufbau (Abb. 1) konnten alle räumlichen Annäherungsrichtungen und gleichzeitig sowohl günstige als auch ungünstige Konstellationen von Sender- und Empfängermagnetfeld geprüft werden, die für den praktischen Einsatz eine Rolle spielen.

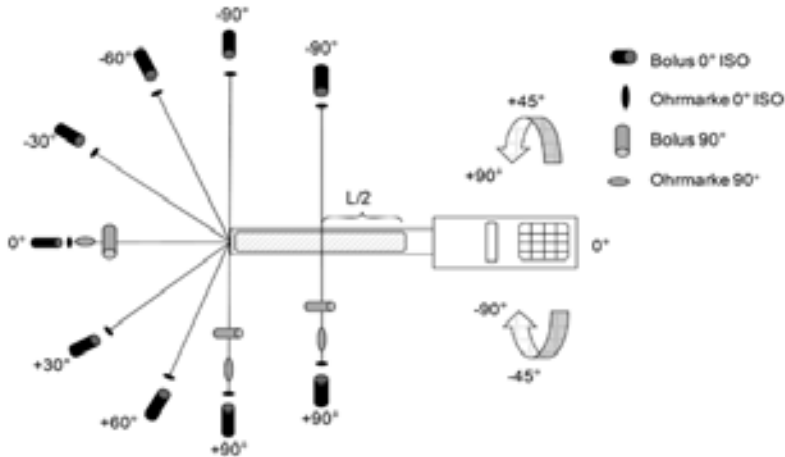


Abb. 1: Messaufbau für die Reichweitenmessung unter Laborbedingungen

Fig. 1: Measurement setup for the read distance evaluation under laboratory conditions

Die Analyse der Daten erfolgte mit der Prozedur GLM im Statistikpaket SAS 9.1. Zur Unterscheidung der ermittelten Least-Square-Mittelwerte (LS Means) wurde der Tukey-Test herangezogen. Den Analysen liegt folgendes lineare Modell zu Grunde:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_i$$

wobei gilt:

Y_{ijkl} : Lesereichweite unter Einwirkung der Strukturvariablen i, j, k, l ,

μ : gemeinsame Konstante für alle Y_{ijkl} ,

α_i : fixer Effekt des Lesegeräts $i, i = 1, 2, \dots, 9$,

β_j : fixer Effekt des Transpondertyps $j, j = 1, 2, \dots, 16$,

γ_k : fixer Effekt der vertikalen Lesegerätausrichtung, $k = 1, 2, \dots, 5$,

$(\alpha\beta)_{ij}$: fixer Effekt der Wechselwirkung Lesegerät*Transpondertyp,

ε_i : Resteffekt.

3 Ergebnisse

Die Ausrichtung der Transponder und Lesegeräte zueinander führte erwartungsgemäß zu deutlichen Unterschieden in der gemessenen Reichweite, da hier die unterschiedlichen Ausrichtungen von Sender- und Empfängermagnetfeld die Reichweiten beeinflussen. Somit konnte ein für die Geräte charakteristisches Lesebereichsfeld ermittelt werden (Abb. 2).

Insgesamt schwankten die erhobenen Messwerte von 2–56 cm (Abb. 3). Die mittlere Lesereichweite über alle Kombinationen von Lesegeräten und Transpondern ergab $25,3 \pm 7,7$ cm in optimaler Orientierung.

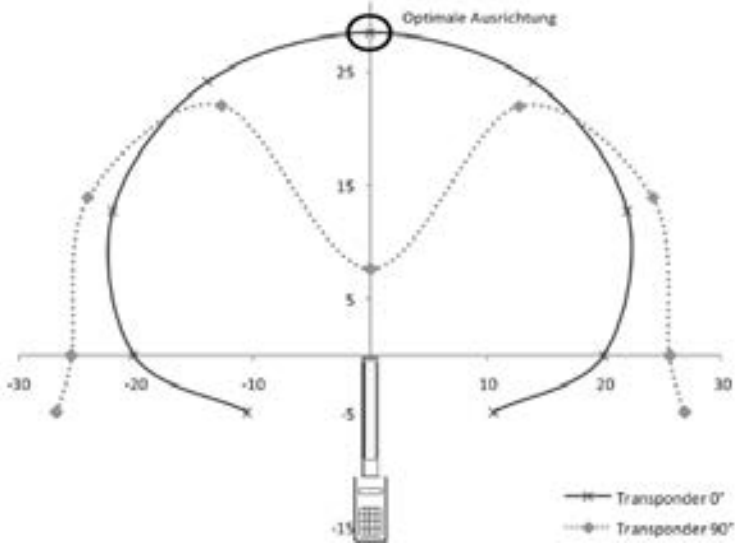


Abb. 2: Schematische Darstellung der Lesereichweite [cm] für ein Handlesegerät
 Fig. 2: Schematic illustration of the reading range of one handheld reader [cm]

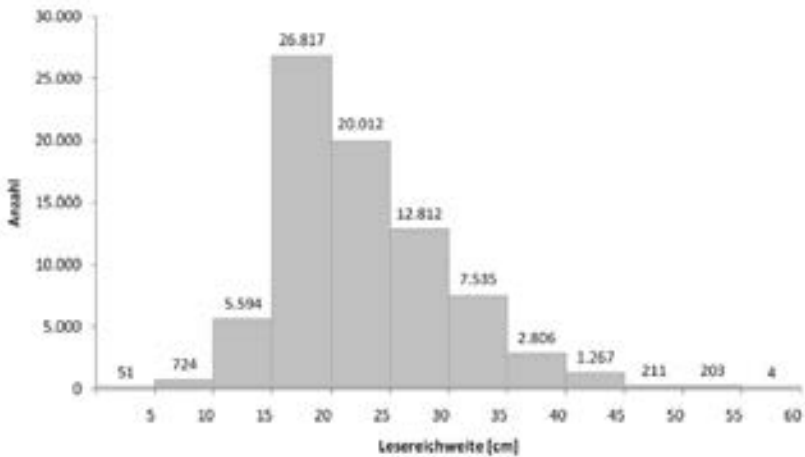


Abb. 3: Verteilung der Messwerte aller Geräte und Ausrichtungen nach Reichweite [cm]
 Fig. 3: Distribution of observed reading distances [cm] of all readers and orientations

Da sich die Lesereichweiten erwartungsgemäß mit der Winkelausrichtung ändern, jedoch die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der Geräte im Versuch davon nicht wesentlich betroffen sind, werden im Folgenden nur die Ergebnisse für die horizontale Winkelausrichtung 0° dargestellt.

Dabei zeigten die Effekte Lesegerät, Transponder sowie die Kombination Lesegerät*Transponder einen signifikanten Einfluss ($P < 0,0001$) auf die Lesereichweite.

Die mittleren Lesereichweiten der getesteten Transponder lagen zwischen 21,1 cm und 33,6 cm in optimaler Ausrichtung (Tab. 1).

Tab. 1: LS-Mittelwerte und Standardabw. [cm] für Transponder (optimale Ausrichtung)

Tab. 1: LS-Means and standard deviations [cm] for transponder (optimum orientation)

Transponder	Mittelwert	Std.abw.		Transponder	Mittelwert	Std.abw.
OM1 FDX	24,3 ^G	±0,04		OM9 FDX	21,3 ^K	±0,04
OM2 HDX	26,9 ^C	±0,04		OM10 FDX	25,6 ^E	±0,04
OM3 FDX	24,2 ^G	±0,04		OM11 FDX	21,1 ^L	±0,04
OM4 FDX	27,7 ^B	±0,04		OM12 HDX	22,1 ^J	±0,04
OM5 HDX	25,6 ^{EF}	±0,04		B1 FDX	22,4 ^I	±0,04
OM6 FDX	23,5 ^H	±0,04		B2 FDX	33,6 ^A	±0,04
OM7 HDX	25,4 ^F	±0,04		B3 HDX	27,0 ^C	±0,04
OM8 FDX	25,7 ^E	±0,04		B4 HDX	26,3 ^D	±0,04

^{A-K} Mittelwerte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)

Bei den Lesegeräten im Test konnten mittlere Lesereichweiten von 17,0–39,1 cm gemessen werden (Tab. 2). Somit zeigten die Lesegeräte noch größere Reichweitenunterschiede als die Transponder.

Tab. 2: LS-Mittelwerte und Standardabw. [cm] für Reader (optimale Ausrichtung)

Tab. 2: LS-Means and standard deviations [cm] for readers (optimum orientation)

Transeiver	Mittelwert	Std.abw.		Transeiver	Mittelwert	Std.abw.
R1	31,0 ^B	±0,03		R6	25,0 ^D	±0,03
R2	17,0 ^H	±0,03		R7	39,1 ^A	±0,03
R3	24,9 ^D	±0,03		R8	17,7 ^G	±0,03
R4	28,4 ^C	±0,03		R9	19,0 ^F	±0,03
R5	24,4 ^E	±0,04				

^{A-H} Mittelwerte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)

Ein genereller Unterschied in der Reichweite zwischen Transpondern verschiedener Übertragungsmodi (HDX/FDX) konnte nicht über alle Lesegeräte festgestellt werden. Nur bei einzelnen Lesegeräten war ein signifikanter ($P < 0,0001$) Unterschied feststellbar, wobei sowohl bessere Reichweiten bei HDX-Transpondern als auch bei FDX-Transpondern bei verschiedenen Geräten ermittelt werden konnten.

Die Antennenbauform der Transponder hatte einen signifikanten ($P < 0,0001$) Einfluss auf die Reichweite. Luftspulentransponder wurden im Mittel bei einer Reichweite von $28,7 \pm 0,2$ cm erkannt und Transponder mit Ferritantennen bei $24,8 \pm 0,1$ cm. Boli erreichten eine signifikant ($P < 0,0001$) höhere Reichweite ($26,8 \pm 0,1$ cm) als Ohrmarken ($24,2 \pm 0,1$ cm).

Für eine Beurteilung der Technik eines Kennzeichnungssystems reicht eine isolierte Betrachtung von Transponder und Lesegerät jedoch nicht aus, da vor allem das Zusammenspiel beider Komponenten entscheidend für die Lesereichweite ist. Die Unterschiede in der Lesereichweite, die bei den Kombinationen auftraten, fielen teilweise deutlich aus. So erreichte im vorliegenden Test die schwächste Kombination gerade einmal 13,1 cm, die beste Kombination hingegen 52,5 cm, wobei es sich bei der stärksten Kombination um einen Bolus handelt. Die beste Ohrmarken-Lesegerät-Kombination erreichte 42,8 cm, und damit gut die dreifache Reichweite im Vergleich zur schwächsten Kombination. Abbildung 4 zeigt die Lesereichweitenverteilung aller möglichen Kombinationen von Transpondern und Lesegeräten.

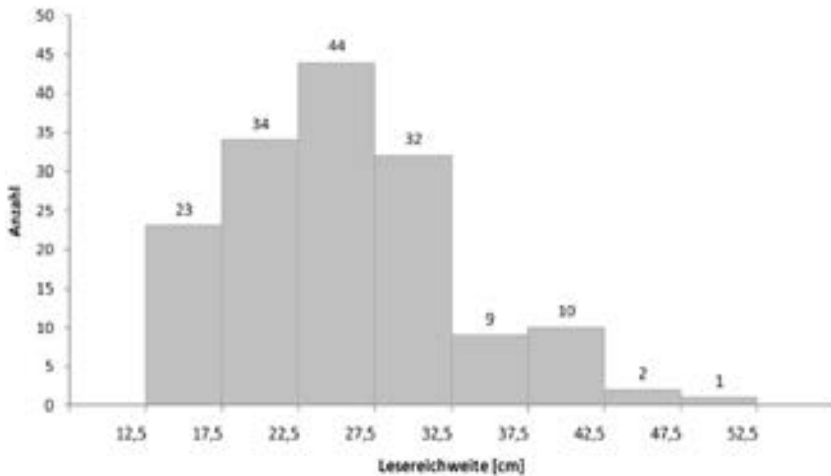


Abb. 4: Verteilung der Messwerte aller 144 Kombinationen von Lesegerät und Transpondern (LS-Means der optimalen Ausrichtung)

Fig. 4: Histogram of LS-Means of the 144 combinations of reader and transponder (optimum orientation)

Rund zwei Drittel der Kombinationen liegt in einem Bereich von knapp 20 bis knapp über 30 cm, jeweils etwa 15 % der Kombinationen liegen über bzw. unter diesem Bereich.

4 Diskussion

Neben den Effekten Lesegerät und Transponder hatte auch die Kombination Lesegerät*Transponder einen signifikanten Einfluss auf die ermittelte Lesereichweite. Wie in anderen Untersuchungen (BRYANT et al., 2006; RYAN et al., 2010) konnten auch deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Kombinationen festgestellt werden. Dies stützt die Vermutung, dass die Hersteller die Lesegeräte auf bestimmte Konstellationen optimieren, wengleich RYAN et al. (2010) auch beträchtliche Unterschiede bei der Verwendung mehrerer Geräte eines Modells fanden.

Nahezu alle getesteten Kombinationen erreichten jedoch die von der VO (EG) Nr. 21/2004 geforderten Mindestreichweiten (Ohrmarken 12 cm und Boli 20 cm in Kombination mit einem Handlesegerät). Bei sieben der 144 untersuchten Kombinationen konnte die Mindestreichweite nicht erlangt werden, wobei es sich hierbei um Boli in Kombination mit vier verschiedenen Lesegeräten handelte. An zwei der betreffenden Lesegeräte kann bei Bedarf noch eine größere Antenne für das Lesen von Boli angeschlossen werden. Es ist somit davon auszugehen, dass die dann erzielten Reichweiten im Bereich der Mindestanforderungen liegen. Trotzdem besteht hier bezüglich der Technik noch Verbesserungsbedarf, vor allem, da es sich um Reichweiten optimal zueinander ausgerichteter Sender und Empfänger handelte und somit ein sicheres und schnelles Erkennen der Transponder im Feld nicht gewährleistet werden kann.

Insgesamt lagen die bei den Lesegeräten ermittelten Lesereichweiten (17,0–39,1 cm) über denen von WALLACE et al. (2006), die beim Test von fünf Handlesegeräten in Kombination mit sechs verschiedenen Transpondertypen mittlere Reichweiten für die Lesegeräte von 8,6–25,5 cm ermitteln konnten. Die von WALLACE et al. (2006) gefundene deutliche Überlegenheit der HDX-Technologie konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden. Allerdings wird die Reichweite auch von weiteren elektrotechnischen Details (Größe/Anzahl Wicklungen Antenne etc.) beeinflusst, die in diesem Versuch nicht untersucht wurden.

Für die endgültige Entscheidung für ein Lesegerät bzw. Transponder können die Labortests nur ein Kriterium von mehreren sein. Handhabbarkeit des Gerätes, Softwareausstattung, Akkulaufzeit sowie Verträglichkeit und Verlustraten von Transpondern spielen in der Praxis eine größere Rolle, sofern die geforderte Mindestleistung bei der Reichweite nicht unterschritten wird (5 % der untersuchten Kombinationen unterschreiten diese). Feldtests bezüglich der Praktikabilität der Technik sind somit unerlässlich.

Für zukünftige Labortests, die auf eine Untersuchung der Kombinationseignung von verschiedenen Lesegeräten und Transpondern abzielen, ist in jedem Fall eine größere Anzahl an Messwiederholungen und die Verwendung von mehreren baugleichen Geräten zu empfehlen.

Damit könnten auch Aussagen über Fertigungsqualität bzw. Produktionskontrolle getroffen werden und somit ein objektiveres Bild über die Qualität der verwendeten Technik gemacht werden. Tests in verschiedenen Winkelausrichtungen (positive und negative) könnten eingespart werden. Sie liefern zwar ein anschauliches Bild über die Magnetfeldcharakteristik, haben aber für den Praxiseinsatz letztendlich nur bedingt einen Nutzen, da sich die Unterschiede der Form des Lesefelds nur als gering erweisen und die ermittelten Reichweiten ohne großen Informationsverlust gespiegelt werden können.

5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass gegenwärtig am Markt erhältliches technisches Equipment für die elektronische Tierkennzeichnung die Anforderungen grundsätzlich erfüllt. Allerdings waren teilweise deutliche Unterschiede in der Leistungsfähigkeit feststellbar, sodass vermehrt auf die Kombinationseigenschaften von

Transpondern und Lesegeräten Wert gelegt werden sollte und dies auch Gegenstand weiterer Forschungsarbeit sein sollte. Für den Praxiseinsatz ist außerdem der Einfluss von diversen Umweltfaktoren auf die Lesereichweite zu berücksichtigen, weshalb eine Laborprüfung nur ein Teil der Qualitäts- und Informationskriterien sein kann.

Ein unabhängiges Prüfsiegel für diverse Kriterien der anzuwendenden Technik wäre als Orientierungshilfe für den Landwirt wünschenswert.

Literatur

- Bryant, A. M.; Blasi, D. A.; Barnhardt, B. B.; Epp, M. P.; Glaenger, S. J. (2006): Variation in performance of electronic cattle ear tags and readers. Beef Cattle Research, Report of Progress 959. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan, 33–37
- Ribó, O.; Cuypers, M.; Korn, C.; Meloni, U. (2002): Large-scale project on livestock electronic identification – IDEA Project. Final Report, v. 3.0, <http://idea.jrc.it/pages%20idea/final%20report.htm>, Zugriff am: 20.05.2007
- Ryan, S. E.; Blasi, D. A.; Anglin, C. O.; Bryant, A. M.; Rickard, B. A.; Anderson, M. P.; Fike, K. E. (2010): Read distance performance and variation of five low-frequency radio frequency identification panel transceiver manufacturers. *Journal of Animal Science*, Vol. 88, 2514–2522
- VO (EG) Nr. 21/2004: Verordnung des Rates zur Einführung eines Systems zur Kennzeichnung und Registrierung von Schafen und Ziegen und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 sowie der Richtlinien 92/102/EWG und 64/432/EWG vom 17.12.2003, ABl. Nr. L 5, 8–17
- Wallace, L. E.; Paterson, J. A.; Clark, R.; Kellom, A.; Standley, T.; Vogel, M. (2006): Effect of decreasing temperature on the readability of six different radio frequency electronic identification transponders scanned by five different transceivers. *Journal of Animal Science*, Vol. 84(Suppl. 2), Abstract 72, 160

Eignung zweier UHF-Transponder für die elektronische Tierkennzeichnung

Suitability of two UHF transponders for animal identification

TOBIAS STEKELER, DANIEL HERD, BENJAMIN RÖSSLER, THOMAS JUNGBLUTH

Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Fachgebiet Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, Deutschland

Schlüsselwörter: Elektronische Tierkennzeichnung, RFID, Precision Livestock Farming, Transponder
Keywords: *electronic animal identification, RFID, precision livestock farming, transponder*

Zusammenfassung

RFID-Ultrahochfrequenzsysteme galten bisher aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber Wasser als ungeeignet für die elektronische Tierkennzeichnung. Mittlerweile wurden aber UHF-Transponder entwickelt, die sich gegenüber Wasser unempfindlicher zeigen. Zwei dieser weiterentwickelten UHF-Transponder wurden auf ihre Erfassungsreichweite unter Einfluss von Wasser untersucht. Die Erfassungsreichweiten der Transponder lagen deutlich höher als die eines UHF-Standardtransponders. Eine Erfassungsreichweite von über 60 cm war zudem möglich, wenn die UHF-Transponder von Wasser eingeschlossen waren.

Summary

Due to its susceptibility to water ultra high frequency RFID systems have been considered unsuitable for animal identification so far. Meanwhile, UHF transponders have been developed which are less susceptible to water. Therefore, detection distances of two advanced UHF transponders were examined under the influence of water. Detection distances of the advanced transponders were increased considerably compared to standard UHF transponders. Moreover, the advanced transponders could be detected in a distance of more than 60 cm when they were surrounded by water.

1 Einleitung

Radiofrequenz-Identifikationssysteme (RFID) im Ultrahochfrequenzbereich (UHF, 868 MHz) können eine Alternative zu den aktuell verwendeten Niederfrequenzsystemen (LF, 134,2 kHz) zur elektronischen Tierkennzeichnung (eTK) darstellen. Sie bieten zum einen eine größere Reichweite als LF-Systeme (FINKENZELLER, 2006). Zum anderen aber auch eine deutlich höhere Datenübertragungsrate (KERN, 2006). Dadurch besteht die Möglichkeit, Tiere in der Gruppe simultan zu erfassen. Darüber hinaus gelten UHF-Transponder als günstiger im Vergleich zu Transpondern anderer Frequenzbereiche (CLASEN, 2007; WEINLÄNDER 2010). Allerdings absorbieren leitende Flüssigkeiten wie die Körperflüssigkeit von Tieren oder Wasser UHF-Signale bei weitem stärker als LF-Signale (SCHOBLOCK, 2006). Dadurch können UHF-Transponder, im Gegensatz zu LF-Transpondern, in Anwesenheit von Wasser nicht mehr zuverlässig erfasst werden und gelten als ungeeignet für die Kennzeichnung von Tieren oder wasserhaltigen Objekten (KERN, 2006). Die zunehmende Verbreitung von UHF-Anwendungen in Handel und Logistik führte aber dazu, dass UHF-Transponder entwickelt wurden die gegenüber Wasser unempfindlicher sind als UHF-Standardtransponder. Untersuchungen zur Eignung dieser weiterentwickelten UHF-Transponder für die eTK gibt es aber kaum.

Daher wurde an der Universität Hohenheim die Wirkung der Einflussgröße „Wasser“ auf die Leistungsfähigkeit von weiterentwickelten UHF-Transpondern vor dem Hintergrund eines Einsatzes zur eTK untersucht. Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse zur Erfassungsreichweite weiterentwickelter UHF-Transponder unter Einfluss von Wasser dargestellt.

2 Material und Methoden

Die Untersuchung wurde mit einem UHF-Standardtranspondertyp (N) und zwei weiterentwickelten UHF-Transpondertypen (A und B) durchgeführt. Für die Versuche wurden zwölf Transponder jedes Transpondertyps verwendet. Bei A (Harting Electric, Espelkamp) handelt es sich um einen marktgängigen Transponder der für die Luftfahrtindustrie entwickelt wurde, um unter ungünstigen Bedingungen wie z.B. auf Metall sicher erfasst werden zu können. Sein Kunststoffgehäuse ($41 \times 11 \times 5$ mm) ist IP 69K-geschützt. Transpondertyp B (Harting Electric, Espelkamp) ist ein Prototyp, der speziell auf die Anwesenheit von Wasser abgestimmt wurde. Er besteht aus zwei zusammengeschweißten Leiterplatten ($45 \times 47 \times 1$ mm) zwischen denen sich Mikrochip und Antenne befinden. Als Kontrolle N (UPM Raflatac, Pirkkala, Finnland) wurde ein UHF-Labeltransponder (24×24 mm) gewählt. Alle drei Transpondertypen entsprechen den UHF-Standards ISO 18000-6-c bzw. EPC Class1 Gen2 und arbeiten auf einer Betriebsfrequenz von 868 MHz.

Als Lesegerät wurde ein UDL500 (Deister Electronic, Barsinghausen) verwendet, das auf einer Betriebsfrequenz von 868 MHz arbeitet und ISO 18000-6-c bzw. EPC Class1 Gen2-konforme Transponder unterstützt.

Das Lesegerät wurde an einem metallfreien Messtisch aufgebaut, auf dem sich eine Zeichenunterlage mit einem 2,5 cm-Raster befand, das rechtwinklig zur Mittelachse des

Lesegerätes aufgebracht war. Um den Einfluss unterschiedlicher Wasservolumina untersuchen zu können, wurden drei Behälter aus Polyvinylchlorid (PVC) gefertigt (Abb. 1).

Die in den Versuchen parallel zum Lesegerät ausgerichtete Seite des Behälterinnenraums hatte eine Höhe von 10,0 cm und eine Breite von 14,0 cm. In der Tiefe unterschieden sich die Behälter mit 2,0 cm, 5,0 cm und 8,0 cm (Behälter I, II und III). Die Wandstärke der Behälter betrug 0,5 cm. Die Transponder konnten auf der Behälteraußenseite plan anliegend oder in einem Winkel von 90° abstehend angebracht werden.

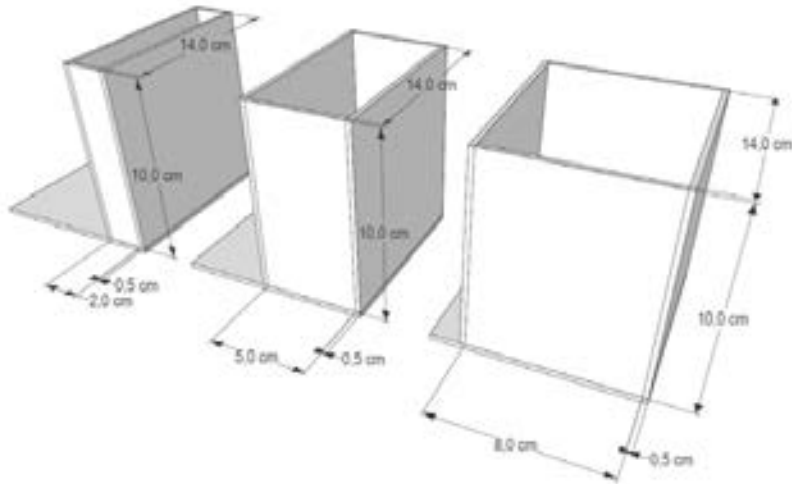


Abb. 1: Behälter I, II, III (v.l.)

Fig. 1: Cask I, II, III (f.l.t.r.)

Mit dem Behälter wurde der daran befestigte Transponder orthogonal auf den Mittelpunkt des Lesegerätes zubewegt, d. h. der Transponder befand sich in einem Winkel von 0° oder 90° zum Lesegerät ausgerichtet mittig auf der dem Lesegerät zu- oder abgewandten Seite des Behälters I, II oder III. Die untersuchten Varianten sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Versuchsvarianten: Erfassungsreichweite der Transpondertypen A, B und N

Tab. 1: experimental variants: detection distance of transponder types A, B and N

Variante	Behälter	Lage des Transponders zum Wasserkörper im Bezug auf das Lesegerät	Orientierung Transponder zu Lesegerät
a	I	hinter 2 cm Wasser	0°, 90°
b	I	ohne Wasser	0°, 90°
c	I	vor 2 cm Wasser	0°, 90°
d	II	vor 5 cm Wasser	0°, 90°
e	III	vor 8 cm Wasser	0°, 90°
f	I+III	zwischen 2 und 8 cm Wasser	0°

Im Gegensatz zum Vorgehen Kerns (KERN, 1997) wurde der Behälter nicht in einer konstanten Geschwindigkeit auf das Lesegerät zubewegt, sondern indem er in abnehmender Entfernung zum Lesegerät auf den Rasterpunkten des Messtisches aufgesetzt und wieder entfernt wurde. Wurde der Transponder erfasst, konnte die Entfernung zum Lesegerät am Rasterpunkt abgelesen werden. Die Messung der Erfassungsreichweite wurde fünfmal wiederholt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistik-Paket R (Version 2.12, The R Foundation for Statistical Computing, Wien).

3 Ergebnisse

Die weiterentwickelten Transpondertypen A und B erreichten in Anwesenheit von Wasser (Varianten a, c, d, e) unabhängig vom Volumen des Wassers, der Lage zum Wasserkörper im Bezug auf das Lesegerät oder der Orientierung zum Lesegerät stets höhere Erfassungsreichweiten als der Transpondertyp N. In 90°-Orientierung (Abb. 2) wurde bei A eine durchschnittliche Erfassungsreichweite von bis zu 71,7 cm und bei B von bis zu 124,6 cm beobachtet, in 0°-Orientierung (Abb. 3) von bis zu 134,4 cm bei A und 96,8 cm bei B (alle in Variante c).

Auch bei Abwesenheit von Wasser (Variante b; Abb. 2 und Abb. 3) erreichten A und B höhere Erfassungsreichweiten als N, mit Ausnahme von A in 90°-Orientierung zum Lesegerät. Die Erfassungsreichweite war bei allen drei Transpondertypen in dieser Variante unabhängig von ihrer Orientierung zum Lesegerät geringer als in den Varianten a (Transponder hinter 2 cm Wasser) und c (Transponder vor 2 cm Wasser).

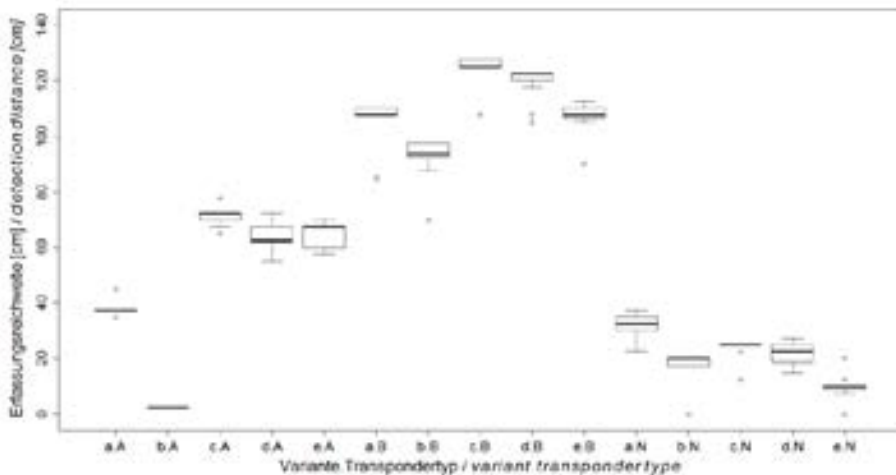


Abb. 2: Erfassungsreichweite der Transpondertypen A, B und N (Orientierung: 90°)

Fig. 2: Detection distance of transponder types A, B and N (orientation: 90°)

Im Vergleich der Transpondertypen A und B zeigte A in Anwesenheit von Wasser (Varianten a, c, d, e; Orientierung 0° und 90°) eine konstantere Leistung als B (Abb. 2 und Abb. 3). Mit Ausnahme von Variante a in 90°-Orientierung (\varnothing 38,4 cm) wurden stets durchschnittliche Erfassungsreichweiten von über 60,0 cm erreicht.

B erreichte zwar in der 90°-Orientierung deutlich höhere Erfassungsreichweiten als A von über 100,0 cm, in den Varianten d und e in 0°-Orientierung wurden aber nur eine durchschnittliche Erfassungsreichweite von 6,1 cm bzw. 19,2 cm beobachtet.

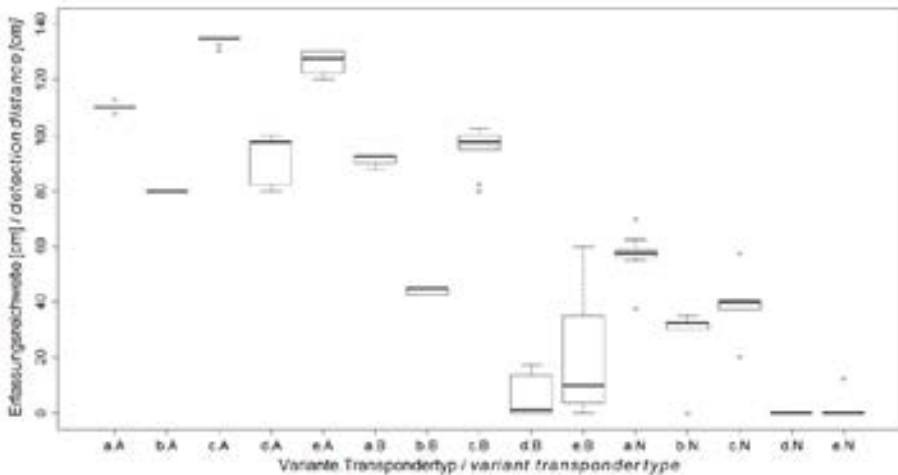


Abb. 3: Erfassungsreichweite der Transpondertypen A, B und N (Orientierung: 0°)
 Fig. 3: Detection distance of transponder types A, B and N (orientation: 0°)

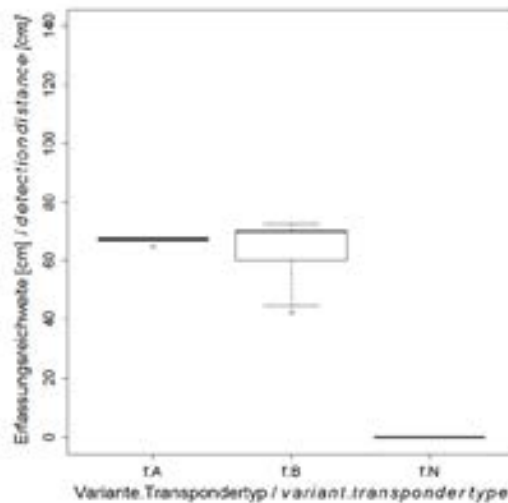


Abb. 4: Erfassungsreichweite der Transpondertypen A, B und N
 Fig. 4: Detection distance of transponder types A, B and N

Waren die Transponder zwischen zwei Wasserkörpern eingeschlossen (Variante f; Transponder hinter 2 cm Wasser und vor 8 cm Wasser) konnte N nicht mehr erfasst werden, A und B erreichten dagegen eine Erfassungsreichweite von durchschnittlich 67,3 cm bzw. 64,7 cm (Abb. 4).

4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass UHF-Transponder auf die Anwesenheit von Wasser abgestimmt und unter Einfluss von Wasser in Entfernungen von ca. 60–130 cm erfasst werden können: Die weiterentwickelten Transponder A und B erreichten in allen untersuchten Varianten mit Wasser vor oder hinter den Transpondern höhere Erfassungsreichweiten als der UHF-Standardtransponder N. Dennoch erreichte N bei Anwesenheit von Wasser unerwartet hohe Erfassungsreichweiten. Diese lassen sich dadurch erklären, dass durch die Wandstärke der Wasserbehälter von 0,5 cm und das Abstehen der Transponder vom Wasserkörper in der 90°-Orientierung der Abstand zwischen dem Transponder und dem störenden Untergrund erhöht wurde. Das ist ein Lösungsansatz, der beim Einsatz von UHF-Transpondern unter ungünstigen Bedingungen als sogenannte „space tags“, „foam tags“ oder „flag tags“ verwendet wird (CLASEN, 2007). In folgenden Untersuchungen sollte daher die Wandstärke der Wasserbehälter verringert werden, um den Einfluss des Wassers nicht zu beschränken.

Die geringere Empfindlichkeit der weiterentwickelten Transpondertypen A und B gegenüber Wasser im Vergleich zum Standardtranspondertyp N zeigte sich am deutlichsten, als die Transponder zwischen zwei Wasserkörpern eingeschlossen waren. Eine Erfassung von N war unter dieser Bedingung nicht möglich. A und B konnten aber in einem Abstand von über 60 cm erfasst werden. Dies zeigt das Potenzial dieser Transponder für den Einsatz zur eTK auf. Sie sind gegenüber der Einflussgröße „Wasser“ deutlich unempfindlicher als ein UHF-Standardtransponder und können unter Bedingungen erfasst werden, die eine Erfassung des UHF-Standardtransponders nicht erlauben. In einer weiteren Untersuchung soll die Wirkung der Einflussgröße „Wasser“ auf die Erfassungssicherheit der beiden Transpondertypen bestimmt werden, wenn diese sich in Bewegung befinden.

Literatur

- Clasen, Michael (2007): RFID: Maßgeschneidert oder von der Stange? In: Böttinger, S.; Theuvsen, L.; Rank, S.; Morgenstern, M. (Hrsg.): Agrarinformatik im Spannungsfeld zwischen Regionalisierung und globalen Wertschöpfungsketten. Referate der 27. GIL Jahrestagung, 05.-07. März 2007, Stuttgart, 43–64
- Finkenzeller, Klaus (2002): RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. Hanser Verlag, München
- Kern, Christian (2006): Anwendung von RFID-Systemen. Axel Springer Verlag, Hamburg

- Kern, Christian (1997): Technische Leistungsfähigkeit und Nutzung von injizierbaren Transpondern in der Rinderhaltung. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG); 316. Institut für Landtechnik Weihenstephan, Freising
- Schoblick, R.; Schoblick, G. (2005): RFID Radio Frequency Identification: Grundlagen, Eingeführte Systeme, Einsatzbereiche, Datenschutz, Praktische Anwendungsbeispiele. Franzis, Poing b. München
- Weinländer, Markus (2010): Funketiketten steuern die Fertigung. A&D Kompendium 2009/2010, 150–152

Entwicklung und Bau eines RFID Mehrfachlesegerätes für FDX Transponder

Development and construction of a RFID Multireader for FDX transponder

DANIEL HERD, BENJAMIN RÖSSLER, TOBIAS STEKELER, THOMAS JUNGBLUTH

Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Fachgebiet: Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, Deutschland

Schlüsselwörter: Elektronische Tierkennzeichnung, RFID, Precision Livestock Farming, Transponder
Keywords: *electronic animal identification, RFID, Precision Livestock Farming, transponder*

Zusammenfassung

Die zurzeit verwendeten RFID-Niederfrequenzsysteme zur elektronischen Tierkennzeichnung können Tiere nur einzeln, aber nicht simultan in der Gruppe identifizieren. Eine Simultanerfassung erlaubt Mehrfachlesegeräte im Niederfrequenzbereich die im Raum-multiplexverfahren betrieben werden. Zur Identifizierung von Tieren werden sie jedoch nicht eingesetzt. In der durchgeführten Untersuchung wurde ein selbst entwickeltes und gebautes Mehrfachlesegerät mit FDX-B-fähigen Lesemodulen auf einem Prüfstand getestet und hinsichtlich der Erfassungsquote bewertet. Dabei wurden Geschwindigkeit, Anzahl der Lesegeräte und Anzahl der Transponderohrmarken variiert. Die durchschnittliche Erfassungsquote über alle Untersuchungen lag bei 94,7 %.

Summary

With the currently used low-frequency RFID systems for electronic animal identification, animals can only be identified individually in the group, but not simultaneously. Multiple low-frequency RFID readers which are operated at space-division multiplexing allow simultaneous detection, but are not used for animal identification. In the present study a self-developed and built multi-reader with FDX-B compatible reader modules was tested on a test stand and evaluated by using the detection rate. The transponder speed, number of readers and the number of transponder ear tags are varied. The average identification rate over all tests was 94.7 %.

1 Einleitung und Problemstellung

Die elektronische Erkennung von Tieren mithilfe von Transpondern erfolgt auf der international festgelegten Frequenz 134,2 kHz (ISO 11785). Das gleichzeitige Erfassen von Transpondern im Lesefeld ist nach ISO 11785 nicht vorgesehen. Sind mehrere Tiere oder genauer Transponder im Erfassungsbereich des Lesegerätes, kommt es beim Datenaustausch zwischen Transpondern und Lesegerät zu einer Datenkollision, was die Erfassung der Transponder durch das Lesegerät unmöglich macht (FINKENZELLER, 2002). Daher müssen Tiere zur Identifikation einzeln durch das magnetische Feld des LF-Lesegerätes geführt werden. Da hierdurch die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie beschränkt sind, werden Lösungen benötigt, die diese Probleme umgehen.

2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Untersuchung war es, ein System zu entwickeln und einzusetzen, das die gleichzeitige Erkennung von ISO kompatiblen RFID Transpondern in einem Lesefeld ermöglicht. Hierzu wurde ein RFID Mehrfachlesegerät gebaut und dieses für FDX Transponder im Raummultiplexverfahren betrieben. In verschiedenen Versuchen an einem dafür entwickelten Mess- und Prüfstand wurden Einflussgrößen unter Laborbedingungen variiert und das Gesamtsystem anhand der Erfassungsquote beurteilt.

3 Kenntnisstand

Befinden sich zwei gleichzeitig sendende RFID Transponder in der Reichweite einer Antenne kommt es zur Datenkollision. Um dieses Problem zu lösen wurden verschiedene Antikollisionsverfahren, die mehrere Transpondersignale voneinander trennen, entwickelt. Es gibt prinzipiell vier verschiedene Verfahren, das Raummultiplexverfahren (SDMA), das Zeitmultiplexverfahren (TDMA), das Frequenzmultiplexverfahren (FDMA) und das Codemultiplexverfahren (CDMA). Beim Raummultiplexverfahren werden die Reichweite eines einzelnen Lesegerätes und die Größe der Antennen auf das zu erfassende Objekt angepasst, aber gleichzeitig mehrere Lesegeräte und Antennen flächendeckend nebeneinander in einem Array betrieben. Bei Sportveranstaltungen wird diese Technologie in Antennen von Tartanmatten angewendet. Beim Zeitmultiplexverfahren wird die Kanalkapazität zeitlich zwischen den Teilnehmern aufgeteilt. Dies bedeutet, dass das Lesegerät den Transpondern ein Zeitfenster zum Antworten mitteilt und somit eine Datenkollision verhindert (FINKENZELLER, 2002).

BUROSE et al. (2010) und BUROSE (2010) führten Untersuchungen mit Antikollisionsohrmarken (AK-Ohrmarke: 125 kHz) und ISO-Ohrmarken (134,2 kHz) in der Praxis und im Labor durch. Die AK-Ohrmarken wurden mit einer Antenne im Zeitmultiplexverfahren, die ISO-Ohrmarken mit einer Lesematte im Raummultiplexverfahren erfasst.

Die durchschnittlichen Erfassungsquoten schwankten in dem Praxisversuch für das AK-System zwischen, 65 und 84 %, für das ISO-System zwischen 52 und 98 %. In den Laborversuchen lag die durchschnittliche Erfassungsquote für das AK-System zwischen

43 und 48 % und für das ISO-System zwischen 68 und 85 %. Die erzielten Erfassungsquoten machten deutlich, dass weiterer Entwicklungsbedarf besteht.

4 Material und Methoden

Für die vorliegende Untersuchung wurden neun FDX-B-Transponderohrmarken (Flexo-Tronic R30, Caisley International, Bocholt) verwendet.

Mehrfachlesegerät: Die Lesemodule des Mehrfachlesegerätes (OMNIKEY® 5534 Reader Core MultiTag RDLO-0101N0-01; Hersteller: HID Global Corporation) sowie das Schnittstellenkabel wurden zugekauft. Das USB-Schnittstellenkabel ermöglichte die serielle Kommunikation zum PC und versorgte das Lesemodul mit der benötigten Betriebsspannung. Um störende elektromagnetische Felder abzuschirmen wurde das Lesemodul in ein Gehäuse aus Weißblech eingebaut. Der Readerarray des Mehrfachlesegerätes wurde aus 8 selbst gewickelten Antennen aufgebaut. Die Wicklung der Antennen erfolgte um eine 200 × 200 mm große Plexiglasplatte.

Mess- und Prüfstand: Der Mess- und Prüfstand wurde aus einem Holzrahmen erstellt. An einem Keilriemen wurden Transponder befestigt und diese am Mehrfachleser vorbei geführt. Die Geschwindigkeit des Keilriemens konnte stufenlos mit einem Elektromotor geregelt werden (Abb. 1). Die Leseereignisse wurden am Computer mithilfe einer selbst entwickelten Software erfasst.

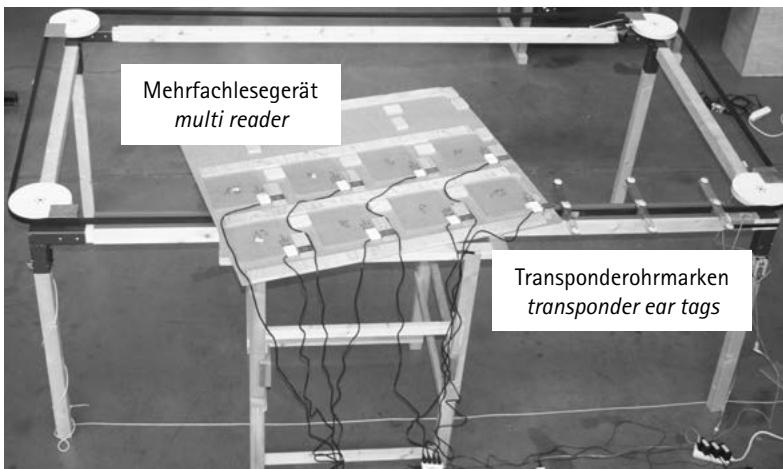


Abb. 1: Prüfstand mit Mehrfachlesegerät und Transponderohrmarken

Fig. 1: Test stand with multi reader device and transponder ear tags

Versuchsrahmen: Die Versuche wurden bei konstantem Abstand (60 mm) und gleicher Ausrichtung zwischen Transponder (ISO 11785 konforme FDX-B Transponder) und Mehrfachlesegerät durchgeführt. Das Mehrfachlesegerät wurde schräg (15°) über

den durchlaufenden Transpondern positioniert, damit jeder Transponder durch mindestens ein Lesefeld geführt wird. Zielgröße war bei allen Versuchen die Erfassungsquote.

$$\text{Erfassungsquote} = \frac{\text{erfasste Transponder}}{\text{erfassbare Transponder}}$$

Folgende Einflussgrößen wurden variiert:

- Geschwindigkeit [m/s]: 1,0; 1,5 und 2,0
- Anzahl Transponder [n]: 3; 6 und 9
- Anzahl Lesegeräte [n]: 4; 6 und 8

Eine Wiederholung entsprach 20 Durchläufen. Insgesamt wurden 27 Faktorkombinationen untersucht, wobei jede Faktorkombination fünfmal wiederholt wurde. Als statistisches Modell wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse gewählt. Die Auswertung erfolgte mit der Statistik-Software R.

5 Ergebnisse

Das Ergebnis der Varianzanalyse mit der Zielvariablen „Erfassungsquote von Transpondern“ setzte sich aus insgesamt 27 Varianten zusammen: jeweils drei Ausprägungen der Einflussgrößen „Geschwindigkeit“, „Anzahl der Lesegeräte“ und „Anzahl der Transponderohrmarken“ (Tab. 1). Alle Einflussgrößen waren hoch signifikant (p -Wert $< 0,0001$). Die mittlere Erfassungsquote aller Versuche lag bei 94,7 %, die Standardabweichung bei 0,8 %.

Tab. 1: Statistische Auswertung mit der Zielvariablen Erfassungsquote, den Einflussgrößen Geschwindigkeit, Anzahl der Lesegeräte und Anzahl der Transponderohrmarken

Tab. 1: Statistical evaluation with the target variable identification rate, the parameters speed, number of readers and the number of transponder ear tags

Einflussgröße	Freiheitsgrade [n]	Quadratsumme	Mittelquadrat	F-Wert	p-Wert
Geschwindigkeit	2	100,0	49,98	24,271	$< 0,0001$
Anzahl der Lesegeräte	2	6176,6	3088,32	1499,676	$< 0,0001$
Anzahl der Transponderohrmarken	2	3314,3	1657,15	804,702	$< 0,0001$

Die Ergebnisse zeigen, dass die Erfassungsquote mit steigender Geschwindigkeit abnimmt und deren Streuung zunimmt (Abb. 2). Mit steigender Anzahl der Lesegeräte nimmt die Erfassungsquote zu, wobei die Streuung abnimmt (Abb. 3). Mit einer Anzahl von sechs Transponderohrmarken wird eine höhere Erfassungsquote erreicht als mit drei oder neun Transponderohrmarken (Abb. 4). Gleichzeitig ist die Streuung der Erfassungsquote bei sechs Transponderohrmarken geringer als bei drei oder neun Transponderohrmarken. Die Ergebnisse zur Anzahl der Transponderohrmarken (Abb. 4) entsprachen nicht den Erwartungen. Die Erfassungsquote sowie die Streuung waren bei sechs Transponderohrmarken und nicht bei drei Transponderohrmarken am besten.

Zu erwarten war, dass bei neun Transpondern die Erfassungsquote sowie die Streuung am schlechtesten sind – dies bestätigten die Ergebnisse. Insgesamt lässt sich vermuten, dass die Position der Transponderohrmarken auf dem Keilriemen einen Effekt hatte. Bei weiteren Versuchen sollte dies berücksichtigt und verbessert werden.

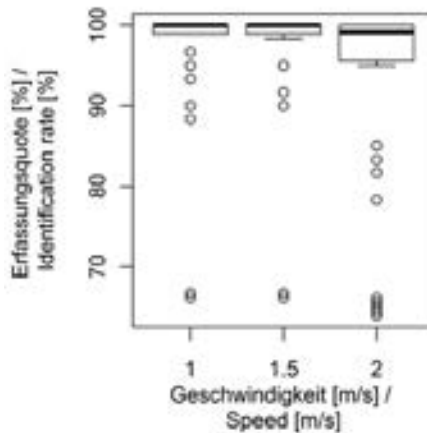


Abb. 2: Erfassungsquoten in Abhängigkeit der Einflussgröße „Geschwindigkeit“
 Fig. 2: Identification rates in dependence of the parameter "speed"

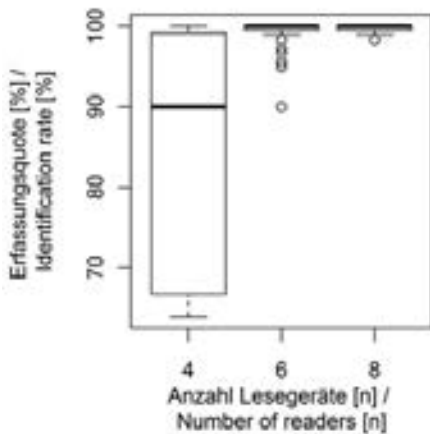


Abb. 3: Erfassungsquoten in Abhängigkeit der Einflussgröße „Anzahl der Lesegeräte“
 Fig. 3: Identification rates in dependence of the parameter "number of readers"

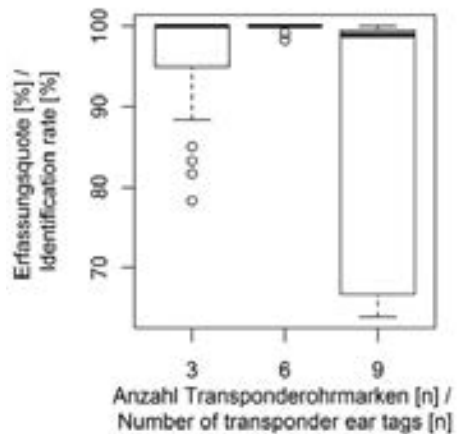


Abb. 4: Erfassungsquoten in Abhängigkeit der Einflussgröße „Anzahl der Transponderohrmarken“
 Fig. 4: Detection rates in dependence of the parameter "number of transponder"

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, dass es möglich ist, ein FDX-fähiges Mehrfachlesegerät zu bauen und dieses erfolgreich im Raummultiplexverfahren zu betreiben. Die gewählten Einflussgrößen beeinflussten signifikant die Erfassungsquote in den Laborversuchen. Die Ergebnisse zeigen die Machbarkeit, jedoch ist der Einsatz dieses Mehrfachlesers in der Praxis durch die nur eingeschränkte Reichweite mit max. 20 cm kaum möglich.

Bei zukünftigen Untersuchungen sollte die Antennenkonfiguration durch eine versetzte Anordnung optimiert und die symmetrische Anordnung der Transponderohrmarken randomisiert werden. Die Software für den Prüfstand muss weiter verbessert werden, um zukünftige Versuche flexibler und effizienter zu gestalten.

Es wurde deutlich, dass ein Betrieb des Mehrfachlesegerätes mit nur vier Lesegeräten nicht ausreicht, da die Erfassungsquote zu gering ist. Wurden nur die Ergebnisse beim Betrieb mit sechs und acht Lesegeräten berücksichtigt, konnte eine Erfassungsquote von 99,5 % und eine Standardabweichung von 0,6 % erreicht werden.

Die Verwendung von leistungsstärkeren Lesegeräten könnte diese Einschränkung aber in Zukunft aufheben, sodass ein Einsatz unter Praxisbedingungen und somit ein gleichzeitiges Erkennen von Tieren in der Gruppe möglich wäre.

Literatur

- Burose, F.; Anliker, T.; Herd, D.; Jungbluth, T.; Zähler, M. (2010): Lesbarkeit von elektronischen Ohrmarken in stationären Antennensystemen. *Landtechnik*. 65, (6), 2010, 446–449
- Burose, F. (2010): Elektronische Ohrmarken für eine lückenlose automatische Identifikation von Schweinen von der Geburt bis zur Schlachtung. Dissertation Universität Hohenheim, VDI MEG 487
- Finkenzeller, K. (2002): RFID Handbuch – Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. München, Wien
- ISO 11785: Radio-frequency identification of animals – Technical concept
- Kern, C. (2006): Anwendung von RFID-Systemen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

Effekte der Auslaufgestaltung auf die Herzfrequenzvariabilität (HRV) und das Verhalten von Sportpferden in Einzelboxen

Effects of configuration of turnout on heart rate variability (HRV) and behaviour of competition horses housed in single stalls

HANNA WERHAHN, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE

Außenstelle Vechta der Universität Göttingen, Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft, Universitätsstr. 7, 49377 Vechta, Deutschland

Schlüsselwörter: Sportpferd, Auslauf, HRV, Verhalten, Einzelbox

Keywords: competition horse, turnout, heart rate variability, behaviour, single stall

Zusammenfassung

Die Auswirkungen von 3 praxisüblichen Managementvarianten auf das Verhalten und die Stressbelastung von 6 Sportpferden in Einzelhaltung wurden untersucht. Die Pferde bekamen für jeweils 2 Wochen nach dem täglichen Training entweder zweistündigen Weidegang in Zweiergruppen (GA), einzeln (EA) oder keinen Auslauf (KA). Das Verhalten der Pferde im Stall wurde mithilfe von Videoaufzeichnungen ausgewertet, die HRV wurde in Ruhe bestimmt und anhand der Parameter SDNN und LF/HF analysiert. Das Verhalten während des Auslaufes wurde direkt beobachtet.

In der Variante KA zeigten die Pferde in der Box eine signifikant geringere Liegedauer als in der Variante GA. Die HRV ergab in beiden Parametern die höchste Stressbelastung bei KA, wobei der Unterschied nur bei SDNN im Vergleich zu GA signifikant war. Auf der Weide verbrachten die Pferde die meiste Zeit mit Fressen. Bei EA wurden mehr Bewegungsaktivität und weniger soziale Interaktion beobachtet als bei GA, wobei letzteres bei EA nur über den Zaun hinweg möglich war.

Summary

The effects of 3 common management practices on the behaviour and the degree of stress of 6 competition horses housed in single stalls were investigated. For 2 weeks in each case, the horses passed 3 treatments: free exercise after training for 2 hours on pasture in groups of two (GA), solitary (SA) or no turnout (KA). The behaviour in the stable was analyzed by video recordings, HRV was measured at rest and analyzed using the parameters SDNN and LF/HF. Behaviour during turnout was observed directly.

In KA the duration of lying was significantly shorter than in GA. HRV revealed the highest degree of stress in KA while the difference was only significant in SDNN compared to GA. On pasture the horses spent most of the time eating. In EA more exercise and less social interaction was recorded than in GA, while the last was only possible across fences.

1 Einleitung und Zielsetzung

Einzelhaltung in Boxen schränkt die natürlichen Verhaltensweisen des Pferdes im Hinblick auf Bewegungsaktivität und Sozialkontakte stark ein. Dennoch ist diese Haltungsform in Deutschland vorherrschend, insbesondere für Sportpferde (KORRIES, 2003). Obwohl das System ohne zusätzliche freie Bewegungsmöglichkeiten als nicht tiergerecht bewertet wird (BMELV, 2009), ist Auslauf für Sportpferde nicht selbstverständlich. Das nicht Gewähren von freier Bewegung wird meist mit dem dabei entstehenden Verletzungsrisiko begründet. Wird Auslauf angeboten, findet er häufig einzeln statt, damit die Pferde sich nicht gegenseitig verletzen können. In diesem Fall wird den Pferden zwar die Möglichkeit zu freier Bewegung geboten, soziale Interaktion ist jedoch kaum möglich.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es zu ermitteln, welche Auswirkungen drei gängige Managementvarianten auf das Verhalten und die Stressbelastung von Pferden haben. Mithilfe der Ergebnisse sollen Hinweise auf die Verbesserung der Tiergerechtigkeit der Einzelboxenhaltung gewonnen werden.

2 Tiere, Material und Methoden

Der Versuch fand in einem Pensions- und Ausbildungsbetrieb in Nörten-Hardenberg (Landkreis Göttingen, Niedersachsen) in der Zeit vom 07.06. bis 18.07.2010 statt. Der Versuchsstall enthielt insgesamt 16 Einzelboxen (3,0 × 3,5 m). Die sechs Versuchspferde waren zwischen 4 und 10 Jahren alt, befanden sich vor und im Versuchszeitraum im Turniereinsatz (Dressur/Springen) und waren in nebeneinander liegenden Boxen untergebracht. Die Pferde wurden in 3 Gruppen unterteilt, um in 3 zweiwöchigen Versuchsabschnitten 3 praxisübliche Managementvarianten zu untersuchen: (a) nach dem täglichen Training zweistündigen Weidegang in *Zweiergruppen* (Gruppenauslauf = GA), (b) *einzel*n (Einzelauslauf = EA) und (c) *keinen* Auslauf zusätzlich zum Training (KA). Der Weidegang erfolgte auf 3 nebeneinander liegenden Flächen jeweils mit den Maßen 30 × 60 m. Die Flächen waren durch Litzen getrennt, die jedoch keinen Strom führten. Das Verhalten der Pferde in der Box wurde mithilfe von Videoaufzeichnungen (14–6 Uhr) an 3 Tagen am Ende jeder Variante kontinuierlich ausgewertet. Erfasst wurden die Verhaltensweisen Fressen, aufmerksames Stehen, Beschäftigung, Dösen und Liegen. Zur Feststellung der Stressbelastung wurde die Herzfrequenzvariabilität (HRV) in Ruhe erfasst. Die Parameter SDNN (in ms; Gesamtvariabilität der Herzaktivität) und LF/HF (Verhältnis zwischen niedrigen (LF = low frequency, m²) und hohen (HF = high frequency, m²) Frequenzanteilen am Gesamtsignal; sympathovagale Balance der Regulation) wurden zur Auswertung herangezogen. Während des Weideganges wurde das Verhalten der Pferde im Scan Sampling-Verfahren (Beobachtungsintervall: 5 Min.) direkt beobachtet, wobei die Verhaltensweisen Fressen, Stehen/Dösen, Stehen/Beschäftigung (z.B. Scharren, Beobachtung der Umgebung), Schritt, Trab/Galopp und soziale Interaktion (gegenseitige Fellpflege, Beschnuppern; bei EA mit den Pferden auf den benachbarten Weiden) erfasst wurden. Aggressives Verhalten wurde nicht beobachtet.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem System SAS 9.1 (SAS Inst. Inc., Cary NC, USA). Die Daten der Verhaltensbeobachtung im Stall, die Parameter der HRV-Analyse

und die Verhaltensweisen Fressen und Stehen/Beschäftigung der Verhaltensbeobachtung auf der Weide wurden durch ein- oder mehrmaliges Logarithmieren in Normalverteilungen überführt. Für diese Datensätze wurden mit der Prozedur GLM Varianzanalysen durchgeführt. Mithilfe des t-Tests wurde die Signifikanz der ermittelten Unterschiede überprüft. Für die übrigen Verhaltensweisen auf der Weide wurden Unterschiede zwischen den Varianten mit der Prozedur NPAR1WAY und dem Wilcoxon-Test ermittelt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung des Verhaltens der Pferde in der Box ergab in der Variante KA eine signifikant längere Zeit der „Beschäftigung“ (mit Einstreu und Boxeneinrichtung) und entsprechend eine signifikant kürzere Zeit des „Liegens“ im Vergleich zu der Variante GA (Abb. 1). Dieses wurde auch von CAANITZ et al. (1991) beobachtet. Als Grund wird ein geringeres Ruhebedürfnis in Verbindung mit einem erhöhten Beschäftigungsbedürfnis in der Variante KA vermutet, da im Tagesverlauf weniger Bewegung und somit auch Beschäftigungsmöglichkeit angeboten wurde als in den Varianten mit Auslauf. Die anderen Verhaltensweisen unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Varianten (Abb. 1). Die Verteilung der Verhaltensweisen mit etwa 70 % Stehen (hier aufmerksames Stehen, Beschäftigung und Dösen), 17 % Fressen und 14 % Liegen entsprach in etwa der von früheren Untersuchungen in Einzelhaltung mit rationierter Fütterung (KILEY-WORTHINGTON, 1987; WERHAHN et al., in press).

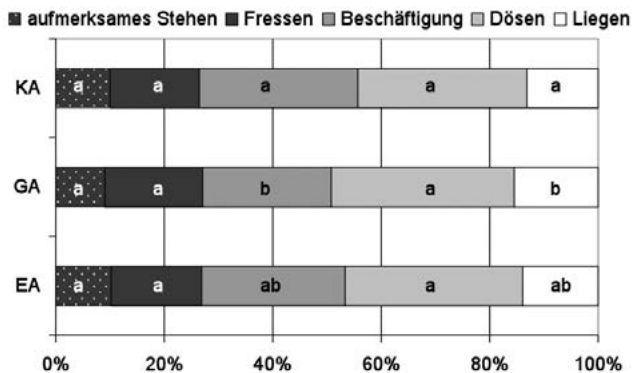


Abb. 1: Zeitbudgets des Verhaltens im Stall (16 Stunden: 14 bis 6 Uhr) unterteilt nach Varianten. [KA = kein Auslauf; EA = Einzelauslauf; GA = Gruppenauslauf; n = 54; a, b = Kleinste Quadratmittelwerte innerhalb einer Verhaltensweise unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)]

Fig. 1: Time budgets of the behaviour patterns within the stall (16 hours: 2 pm to 6 am) subdivided according to treatment [NT = no turnout; ST = solitary turnout; GT = group turnout; n = 54; a, b = Least Squares Means within a behaviour with different letters are significantly different ($P < 0.05$)]

Die Messung der Herzfrequenzvariabilität ergab in den beiden Parametern SDNN und LF/HF in der Variante KA eine höhere Stressbelastung als in den beiden Varianten mit Auslauf. Je höher der Wert des Parameters SDNN, desto geringer ist die Stressbelastung

einzuschätzen (HOTTEIROTT, 2002). Der Unterschied zwischen GA und KA war in diesem Parameter signifikant (Abb. 2). Von sympatho-vagaler Balance wird gesprochen, wenn der Parameter LF/HF in einem Bereich zwischen 1,5 und 2,0 liegt. Überwiegt der sympathische Einfluss ist dieser Wert höher, und es wird von einer Belastung gesprochen (HOTTEIROTT, 2002). Im Mittel über die Versuchspferde lag der Wert etwas über 2,0, was hauptsächlich durch die hohen Werte eines einzelnen Pferdes ausgelöst wurde. Obwohl die Werte sich nicht signifikant unterscheiden, ist der Wert in der Variante KA eindeutig am höchsten (Abb. 2). Das nicht Gewähren von freier Bewegung führte bei den Versuchspferden also zu einer erhöhten inneren Anspannung im Vergleich zu den Varianten mit Auslauf. Dieses Ergebnis bestätigt die Beobachtung von HOFFMANN (2008), die eine sinkende Stressbelastung bei Pferden in Einzelhaltung feststellte, wenn zusätzliche Bewegung (Auslauf in Gruppen oder Führmaschine) angeboten wurde.

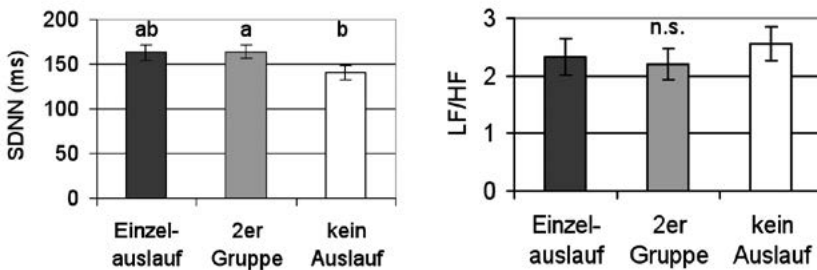


Abb. 2: Kleinste Quadratmittelwerte und Standardfehler der HRV-Parameter SDNN (links) und LF/HF (rechts) unterteilt nach Varianten. [$n = 30$ /Variante; n.s. = nicht signifikant; a, b = kleinste Quadratmittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant unterschiedlich ($P < 0,05$)]

Fig. 2: Least Squares Means and standard errors of the HRV parameters SDNN (left) and LF/HF (right) subdivided according to treatment. [$n = 30$ /treatment; n.s. = not significant; a, b = Least Squares Means within a parameter with different letters are significantly different ($P < 0.05$)]

Während des Auslaufs verbrachten die Pferde in beiden Varianten die meiste Zeit mit Fressen. Zum Ende der Auslaufzeit wurde das Fressen vermehrt durch Bewegungsaktivität und soziale Interaktionen ersetzt (Abb. 3). Soziale Interaktion war bei EA signifikant weniger zu beobachten als bei GA, da sie durch die Zäune weitgehend verhindert wurde. Dennoch interagierten die Pferde bei Einzelauslauf miteinander, indem sie sich über den Zaun hinweg beschnupperten. Dieses bestätigt den Bedarf der Pferde nach sozialer Interaktion (McGreevy et al., 1995; BMELV, 2009). Die höhere Bewegungsaktivität bei EA könnte in mangelndem Kontakt zu Artgenossen und daraus entstandener Unruhe begründet sein (FADER, 2002; VOSWINKEL, 2009).

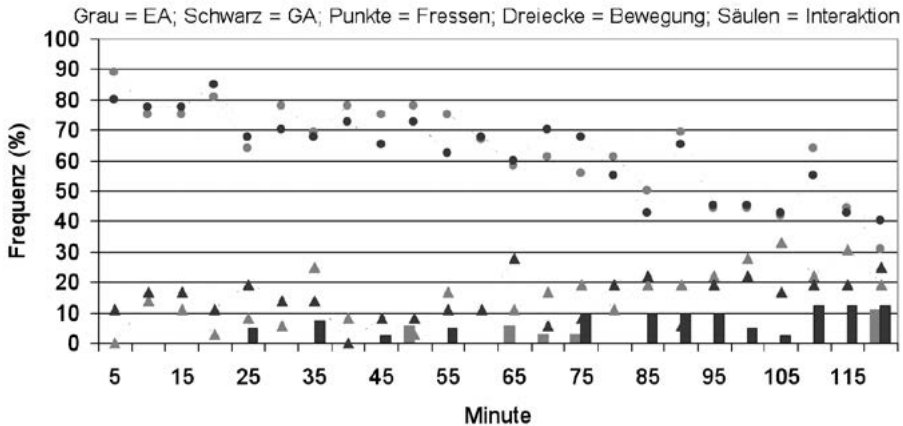


Abb. 3: Beobachtete Häufigkeit (in %) der Verhaltensweisen Fressen, Bewegung (Schritt, Trab, Galopp) und soziale Interaktion im Verlauf der Auslaufzeit unterteilt nach Varianten [EA = Einzelauslauf; GA = Gruppenauslauf; n = 76 Beobachtungen (EA = 36, GA = 40); Auslaufzeit = 120 min.]

Fig. 3: Observed frequency (%) of the behaviours eating, locomotion (walking, trotting and cantering) and social interaction during the course of turnout subdivided according to treatment. [EA = solitary turnout; GA = group turnout; n = 76 observation periods (EA = 36, GA = 40); duration of turnout = 120 min.]

Die Untersuchung zeigt, dass das Management im Tagesverlauf Auswirkungen auf das Verhalten während des Auslaufs, im Stall und auf die Stressbelastung hat. Bei Auslauf in Gruppen ergaben die HRV-Parameter von den untersuchten Varianten die geringste innere Anspannung und das Verhalten im Auslauf war vergleichsweise ruhig. Somit wird der Auslauf in Gruppen als positiv für eine tiergerechte Gestaltung des Haltungssystems angesehen und sollte von den untersuchten Varianten bevorzugt werden.

Literatur

BMELV (2009): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. Herausgegeben vom Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz, http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/GutachtenLeitlinien/HaltungPferde.pdf?__blob=publicationFile (Zugriffdatum: 15.05.2010)

Caanitz, H.; O'Leary, L.; Houpt, K. A.; Petersson, K.; Hintz, H. (1991): Effect of exercise on equine behavior. *Appl Anim Behav Sci*, 31, 1–12

Fader, C. (2002): Ausscheide- und Ruheverhalten von Pferden in Offenlaufstall- und Boxenhaltung. Dissertation, Technische Universität München

Hoffmann, G. (2008): Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen mit verschiedenen Bewegungsangeboten. Dissertation, Universität Gießen

Hottenrott, K. (2002): Herzfrequenzvariabilität im Sport. Czwalina Verlag, Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaften Band 129, Hamburg, Germany

- Kiley-Worthington, M. (1987): The behaviour of horses in relation to management and training. J.A. Allen, London
- Korries, O. C. (2003): Untersuchung pferdehaltender Betriebe in Niedersachsen. Bewertung unter dem Aspekt der Tiergerechtheit bei Trennung in verschiedene Nutzungsgruppen und Beachtung haltungsbedingter Schäden. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover
- McGreevy, P. D.; Cripps, P. J.; French, N. P.; Green, L. E.; Nicol, C. J. (1995): Management factors associated with stereotypic and redirected behaviour in the thoroughbred horse. *Equine Vet J*, Vol. 27, 2, 82–83
- Voswinkel, L (2009): Einfluss der Bewegungsaktivität auf Wachstums- und Ausdauerparameter beim Pferd. Dissertation, Universität Kiel
- Werhahn, H.; Hessel, E. F.; Schulze, H.; Van den Weghe, H. F. A. (in press): Temporary turnout for free exercise in groups: effects on the behaviour of competition horses housed in single stalls. *J Equine Vet Sci*, accepted 14/12/2010

Unser herzlicher Dank gilt Niels von Hirschheydt, seinem Team und den Besitzern der Pferde für das Ermöglichen des Versuches!

Auswirkungen unterschiedlicher Auslaufgestaltungen auf die Bewegungsaktivität während des Auslaufes von Sportpferden in Einzelhaltung

Effects of the configuration of free exercise on activity patterns during turnout in competition horses housed in single stalls

HANNA WERHAHN, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE

Außenstelle Vechta der Universität Göttingen, Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft, Universitätsstr. 7, 49377 Vechta, Deutschland

Schlüsselwörter: Sportpferd, Einzelbox, Auslauf, Bewegungsaktivität
 Keywords: competition horse, single stall, turnout, activity patterns

Zusammenfassung

In drei unabhängigen Versuchen wurden sechs Auslaufvarianten im Hinblick auf die Bewegungsaktivität von vier bzw. sechs in Einzelboxen gehaltenen Sportpferden untersucht: Auslauf vor (AVT) bzw. nach dem Training (ANT), Auslauf auf bewachsenem (W) bzw. unbewachsenem Boden (P) und Auslauf einzeln (EA) bzw. in Zweiergruppen (GA). Jeweils wurden mithilfe von GPS-Geräten die zurückgelegte Strecke und die Geschwindigkeit der Pferde gemessen.

In allen Versuchen ergab sich ein sehr starker Zusammenhang zwischen der zurückgelegte Strecke und der Durchschnittsgeschwindigkeit. Bei AVT wurde eine längere Strecke zurückgelegt als bei ANT. In der Variante W legten die Pferde eine kürzere Strecke zurück als in der Variante P. Bei EA war die zurückgelegte Strecke wiederum länger als bei GA. Insgesamt zeigte sich, dass die Bewegungsintensität zu Beginn der täglichen Auslaufzeit etwas höher war als in der restlichen Auslaufzeit.

Summary

In three independent experiments six variations of turnout configuration were investigated with regard to the activity patterns of four, respectively six competition horses housed in single stalls: turnout before (AVT) or after training (ANT), turnout on an uncovered (P) or a covered (grass) ground (W) and solitary turnout (EA) or turnout in groups of two (GA). In each case, the covered distance and the speed the horses moved at was measured by GPS-devices.

In all experiments a strong relation was found between distance covered and average speed. In AVT the distance covered was longer than in ANT. In W the horses covered a shorter distance than in P. In the treatment EA the distance covered was longer than in GA. In general the horses showed a little more activity at the beginning compared to the remaining time of daily turnout.

1 Einleitung und Zielsetzung

In Deutschland ist die vorherrschende Haltungsform von Sportpferden die Einzelhaltung in Boxen (KORRIES, 2003). Dieses Haltungssystem schränkt die natürlichen Verhaltensweisen des Pferdes, insbesondere Bewegungsaktivität und Sozialkontakte, stark ein. Mehrstündige freie Bewegung auf bewachsenen und unbewachsenen Flächen kann die Tiergerechtheit des Systems deutlich verbessern (BMELV, 2009), birgt aber auch ein Verletzungsrisiko. Verletzungen entstehen leicht bei heftigen Bewegungen, wenn der Körper nicht ausreichend aufgewärmt ist (SAFRAN et al., 1988). Außerdem können Rangauseinandersetzungen oder Unverträglichkeit dazu führen, dass Pferde sich gegenseitig verletzen.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Auswirkungen unterschiedlicher Auslaufgestaltungen auf die Bewegungsaktivität von Sportpferden zu ermitteln, denen nur für einen begrenzten Zeitraum freie Bewegung angeboten wird. Aus den Ergebnissen sollen Hinweise gewonnen werden, wie durch die Gestaltung des Auslaufes das Verletzungsrisiko vermindert und gleichzeitig das Bedürfnis der Pferde nach Bewegung und Sozialkontakten in Einzelhaltung besser erfüllt werden kann.

2 Tiere, Material und Methoden

Der erste Versuch fand in einem Pensionsbetrieb in Settmarshausen (Landkreis Göttingen, Niedersachsen) in der Zeit vom 11.05. bis 19.06.2009 statt. Für den Versuch standen vier Sportpferde im Alter zwischen vier und elf Jahren zur Verfügung, die sich im aktiven Turniereinsatz befanden. Für jeweils zwei Wochen bekamen die Pferde entweder zweistündigen Auslauf vor dem Training (AVT) oder nach dem Training (ANT). Der Auslauf fand auf einer unbewachsenen Fläche mit den Maßen 10×35 m und in konstanten Zweiergruppen statt.

Der zweite Versuch fand ebenfalls in dem Betrieb in Settmarshausen statt und zwar in der Zeit vom 14. bis 25.09.2009. Für diesen Versuch standen vier Sportpferde im Alter zwischen vier und neun Jahren zur Verfügung, die ebenfalls im aktiven Turniereinsatz waren. Für die Dauer von jeweils einer Woche bekamen die Pferde täglich vor dem Training (8–11 Uhr) dreistündigen Auslauf entweder auf einer Weide (W; bewachsener Boden) oder auf einem Paddock (P; unbewachsener Boden). Die Flächen lagen unmittelbar nebeneinander, waren jeweils 10×35 m groß und der Auslauf fand in konstanten Zweiergruppen statt.

Der dritte Versuch fand in einem Pensions- und Ausbildungsbetrieb in Nörten-Hardenberg (Landkreis Göttingen, Niedersachsen) in der Zeit vom dem 07.06. bis 18.07.2010 statt. Für diesen Versuch standen sechs Sportpferde im Alter zwischen vier und zehn Jahren zur Verfügung, die sich ebenfalls im aktiven Turniereinsatz befanden. Nach Einteilung der Pferde in drei Gruppen wurden von allen Pferden drei jeweils zweiwöchige Versuchsvarianten durchlaufen: Auslauf in Zweiergruppen (GA), Einzelauslauf (EA) oder kein Auslauf (KA). Der Auslauf fand jeweils nach dem täglichen Training auf drei nebeneinander liegenden Weidestücken (bewachsener Boden; jew. 30×60 m) statt und dauerte zwei Stunden.

In allen Versuchen wurde die Bewegungsaktivität der Pferde mithilfe von GPS-Geräten erfasst. Diese waren im ersten Versuch an Deckengurten und in den anderen beiden Versuchen an den Halftern der Pferde befestigt. Zusätzlich wurde die soziale Interaktion (gegenseitige Fellpflege, Beschnupern; Aggressivität wurde nicht gezeigt) durch direkte Beobachtung mithilfe des Scan sampling Verfahrens (Beobachtungsintervall 5 Minuten) dokumentiert. In den Versuchen 1 und 3 wurden bis auf die ersten drei Tage jeder Variante alle Daten in die Auswertung einbezogen. Im Versuch 2 wurden jeweils die letzten drei Tage der Variante ausgewertet. Die statistische Auswertung erfolgte jeweils mit dem System SAS 9.1 (SAS Inst. Inc., Cary NC, USA). Die Daten der zurückgelegten Strecke und der mittleren Geschwindigkeit konnten durch ein- oder mehrmaliges Logarithmieren in Normalverteilungen überführt werden. Im Anschluss wurden mit der Prozedur GLM Varianzanalysen für die jeweiligen Datensätze durchgeführt. Mithilfe des t-Tests wurde die Signifikanz der ermittelten Unterschiede überprüft. Die Daten der sozialen Interaktion konnten nicht in Normalverteilungen überführt werden. Unterschiede zwischen den Varianten wurden hier mit der Prozedur NPAR1WAY und dem Wilcoxon-Test ermittelt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Da sich in allen Versuchen ein sehr starker Zusammenhang zwischen der zurückgelegte Strecke und der Durchschnittsgeschwindigkeit ergab ($r = 0,99$; $P < 0,0001$), wird auf die Durchschnittsgeschwindigkeit im Folgenden nicht näher eingegangen.

Im ersten Versuch legten die Pferde in der Variante AVT eine signifikant längere Strecke zurück als bei ANT (Abb. 1). Dieses Ergebnis zeigt, dass durch das Training offenbar ein Teil des Bewegungsbedarfes gedeckt wurde. Da aber auch nach dem Training im Mittel noch mehr als 1,5 km zurückgelegt wurden, zeigt die Untersuchung, dass das Bewegungsbedürfnis durch das Training nicht vollständig gedeckt wurde. Dieses wird auch von einer Studie von JØRGENSEN und BØE (2007) bestätigt. Bei den Pferden 1 und 2 war der Unterschied zwischen den Varianten signifikant, bei den Pferden 3 und 4 dagegen nicht. Pferd 4 legte sogar bei ANT mehr Strecke zurück als bei AVT. Diese Unterschiede sind vermutlich auf den Versuchsablauf zurückzuführen. Vor den Varianten mit Auslauf bekamen alle Pferde für zwei Wochen keine freien Bewegungsmöglichkeiten zusätzlich zum Training. Im Anschluss an diese Versuchsphase bekamen die Pferde 1 und 2 AVT und die Pferde 3 und 4 ANT. Vermutlich ist die erhöhte Bewegungsaktivität hier auf ein erhöhtes Bewegungsbedürfnis als Folge des vorherigen Bewegungsmangels zurückzuführen (HOGAN et al., 1988; HOUPY et al., 2001; CHAYA et al., 2006). Die soziale Interaktion lag in beiden Varianten bei etwa 16 % der Auslaufzeit.

Im zweiten Versuch legten die Pferde in der Variante W eine signifikant kürzere Strecke zurück als in der Variante P (Abb. 2). Besonders in den ersten 10 Minuten und ab etwa der 90. Auslaufminute lag die Aktivität bei P deutlich über der von W. Ab etwa der 130. Auslaufminute ging die Aktivität insgesamt zurück. Das Verhalten bei W war vermutlich ruhiger, da die Pferde hauptsächlich mit Fressen beschäftigt waren. Es wird davon ausgegangen, dass entsprechend bei W eine geringere Verletzungsgefahr durch abrupte Stops und Starts (KUSUNOSE et al., 1987) vorlag als bei P. Der Verlauf der Aus-

laufzeit zeigt außerdem, dass die Aktivität bei W und P meist etwa parallel verlief. Da die beiden Auslauflächen direkt nebeneinander lagen, ist es möglich, dass die Pferde sich gegenseitig zur Bewegung animiert haben (CLAYTON, 1978; KUSUNOSE et al., 1986). Die soziale Interaktion lag in der Variante W bei unter 1 % und bei P bei etwa 4 % der Auslaufzeit. Insgesamt wurde bei einer Gruppe deutlich mehr soziale Interaktion beobachtet als bei der anderen.

Im dritten Versuch wurde bei EA eine signifikant längere Strecke zurückgelegt als bei GA. Dieses wurde auf Unruhe als Folge von fehlenden Sozialkontakten in dieser Variante zurückgeführt (KUSUNOSE et al., 1986; VOSWINKEL, 2009). Andere Studien ergaben dagegen größere Bewegungsaktivitäten bei Gruppenauslauf (drei oder mehr Pferde) im Vergleich zu Einzelauslauf (SØNDERGAARD und SCHOUGAART, 2000; BOYD und BANDI, 2002; HOFFMANN, 2008), was auf die stärkere gegenseitige Motivation in größeren Gruppen zurückgeführt wurde (CLAYTON, 1978; KUSUNOSE et al., 1986). Außerdem gab es bei EA deutlich mehr Aktivitätsspitzen, welche im Zusammenhang mit abrupten Starts und Stops leicht zu Verletzungen führen können (siehe oben). Ab etwa Minute 95 stieg die Bewegungsaktivität in beiden Varianten an. Dieses könnte einerseits darauf hindeuten, dass die zweistündige Auslaufzeit nicht ausreicht, um das Bewegungsbedürfnis der Pferde zu decken, da auch am Ende noch Bewegungsaktivität vorhanden war. Möglicherweise waren die Pferde nach dieser Zeit auch erst vom Gras gesättigt, sodass sie erst „begannen“ andere Verhaltensweisen als Fressen auszuführen. Eine andere Erklärung für dieses Verhalten könnte sein, dass die Pferde nach etwa 90 Minuten unruhig wurden, weil sie zurück in den Stall wollten. Auch dieser Erklärungsansatz ist denkbar, da die Pferde an zweistündigen Auslauf gewöhnt waren, sie sich auf der Weide möglicherweise durch Insekten gestört fühlten und sie bei der Rückkehr in den Stall die Mittagsfütterung

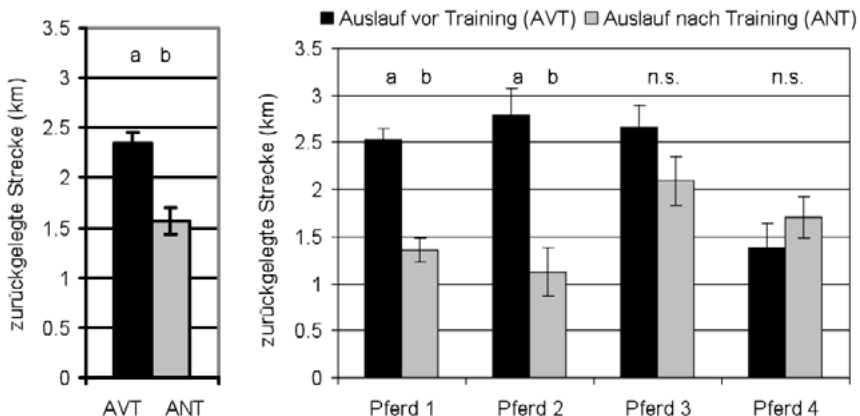


Abb. 1: Kleinste Quadratmittelwerte und Standardfehler der zurückgelegten Strecke während des Auslaufes unterteilt nach Varianten [Auslaufdauer = 2 h; n = 28 (3–5/ Pferd und Variante); n.s. = nicht signifikant; a, b = kleinste Quadratmittelwerte innerhalb eines Pferdes mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)]

Fig. 1: Least squares means and standard error of the distance covered during turnout subdivided according to treatment [Duration of turnout = 2 h; n = 28 (3–5/horse and treatment); n.s. = not significant; a, b = least squares means within a horse with different letters are significantly different ($P < 0.05$)]

erhielten. Die soziale Interaktion wurde in der Variante EA durch den Zaun erschwert. Dennoch versuchten die Pferde mit ihren Weidenachbarn zu interagieren, sodass etwa 1 % der Auslaufzeit mit diesem Verhalten verbracht wurde. Bei GA wurden gut 4 % der Auslaufzeit für soziale Interaktion genutzt.

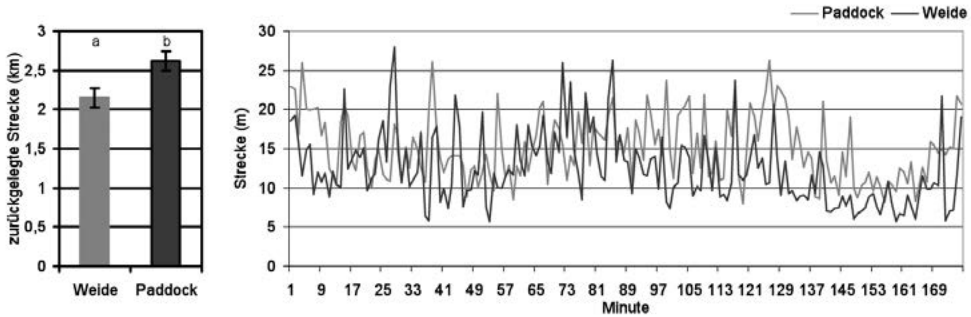


Abb. 2: Links: Kleinste Quadratmittelwerte und Standardfehler der zurückgelegten Strecke während des Auslaufes unterteilt nach Varianten. Rechts: Bewegungsaktivität (Minutenmittelwerte) im Verlauf der Auslaufzeit unterteilt nach Varianten [Auslaufdauer = 176 Minuten; n = 12/Variante; a, b = kleinste Quadratmittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)]

Fig. 2: Left: Least Squares Means and standard error of the distance covered during turnout subdivided according to treatment. Right: Activity patterns in the course of turnout subdivided according to treatment [Duration of turnout = 176 minutes; n = 12/treatment; a, b = Least Squares Means with different letters are significantly different ($P < 0.05$)]

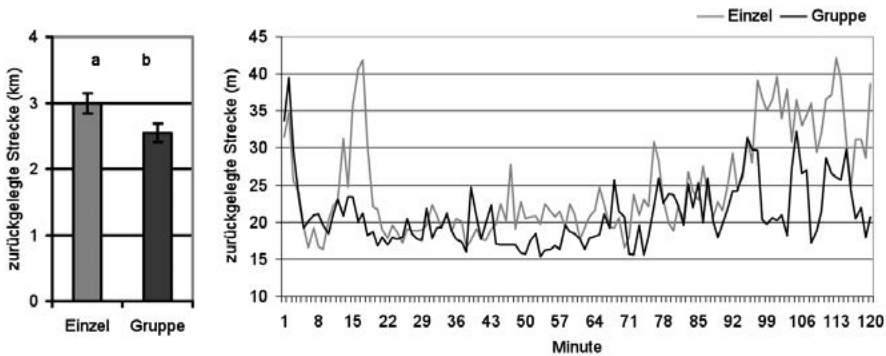


Abb. 3: Links: Kleinste Quadratmittelwerte und Standardfehler der zurückgelegten Strecke während des Auslaufes unterteilt nach Varianten. Rechts: Bewegungsaktivität (Minutenmittelwerte) im Verlauf der Auslaufzeit unterteilt nach Varianten [Auslaufdauer = 120 Minuten; n = 77 (EA = 36, GA = 41); a, b = kleinste Quadratmittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)]

Fig. 3: Left: Least squares means and standard error of the distance covered during turnout subdivided according to treatment. Right: Activity patterns in the course of turnout subdivided according to treatment [Duration of turnout = 120 minutes; n = 77 (EA = 36, GA = 41); a, b = least squares means with different letters are significantly different ($P < 0.05$)]

In allen Versuchen zeigte sich, dass bei regelmäßigem Auslauf die Bewegungsintensität zu Beginn der Auslaufzeit nur in geringem Maße höher war als in der restlichen Auslaufzeit. Die Verletzungsgefahr durch so genannte „Kaltstarts“ wird bei täglichem Auslauf daher als gering eingeschätzt. Die Ausübung sozialer Interaktionen ist offenbar von der Auslaufart und der Gruppenzusammensetzung abhängig. Auf der Weide wird viel Zeit mit Fressen verbracht und weniger mit sozialer Interaktion. Obwohl bei keiner der Gruppen aggressive Interaktion beobachtet wurde, zeigten einige Gruppen mehr soziale Interaktion als andere.

Das Gewähren von Auslauf nach dem Training führte zu einer Reduzierung der Bewegungsintensität, ebenso wie bewachsener Untergrund und feste Auslaufpartner. Da mit geringerer Bewegungsintensität auch die Verletzungsgefahr sinkt, zeigen die Versuche, dass freie Bewegung bei gezieltem Management auch für Sportpferde praktikabel ist. Es bleibt zu untersuchen, welche Auslaufdauer im Sinne des Bedarfes an freier Bewegung optimal ist.

Literatur

- BMELV (2009): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten [Guidelines on evaluating housing systems for horses with respect to animal welfare]. Herausgegeben vom Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz [German Ministry for Nutrition, Agriculture and Consumer Protection], http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/GutachtenLeitlinien/HaltungPferde.pdf?__blob=publicationFile (Zugriffsdatum: 15/05/2010)
- Boyd, L.; Bandi, N. (2002): Reintroduction of takhi, *Equus ferus przewalskii*, to Hustai National Park, Mongolia: time budget and synchrony of activity pre- and post-release. *Appl Anim Behav Sci*, 78, 87–102
- Chaya, L.; Cowan, E, McGuire, B. (2006): A note on the relationship between time spent in turnout and behaviour during turnout in horses (*Equus caballus*). *Appl Anim Behav Sci*, 98, 155–160
- Clayton, D. A. (1978): Socially facilitated behaviour. *Q Rev Biol*, 53, 373–392
- Hoffmann, G. (2008): Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen mit verschiedenen Bewegungsangeboten. Dissertation, Universität Gießen
- Hogan, E. S.; Hought, K. A.; Sweeney, K. (1988): The effect of enclosure size on social interactions and daily activity patterns of the captive Asiatic wild horse (*Equus przewalskii*). *Appl Anim Behav Sci*, 21, 147–168
- Hought, K. A.; Hought, T. R.; Johnson, J. L.; Erb, H. N.; Yeson, S. C. (2001): The effects of exercise deprivation on the behavior and physiology of straight stall confined pregnant mares. *Anim Welfare*, 10, 257–267
- Jørgensen, G. H. M.; Bøe, K. E. (2007): A note on the effect of daily exercise and paddock size on the behavior of domestic horses (*Equus caballus*). *Appl Anim Behav Sci*, 107, 166–173

- Korries, O. C. (2003): Untersuchung pferdehaltender Betriebe in Niedersachsen. Bewertung unter dem Aspekt der Tiergerechtigkeit bei Trennung in verschiedene Nutzungsgruppen und Beachtung haltungsbedingter Schäden. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover
- Kusunose, R.; Hatakeyama, H.; Ichikawa, F.; Kubo, K.; Kiguchi, A.; Asai, Y. et al. (1986): Behavioural studies on yearling horses in field environments: 2. Effects of group size on the behaviour of horses. *B Equine Res Inst*, 23, 1–6
- Kusunose, R.; Hatakeyama, H.; Ichikawa, F.; Oki, H.; Asai, Y.; Ito, K. (1987): Behavioural studies on yearling horses in field environments 3. Effects of the pasture shape on the behaviour of horses. *B Equine Res Inst*, 22, 1–5
- Safran, M. R.; Garrett, W. E.; Seaber, A. V.; Glisson, R. R.; Ribbeck, B. M. (1988): The role of warmup in muscular injury prevention. *A. m J Sports Med*, 16, 123–129
- Søndergaard, E.; Schougaard, H. (2000): The effect of social environment on feed intake, growth and health in young Danish Warmblood horses. *Proceedings 51st Annual Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP)*, The Hague, 365
- Voswinkel, L. (2009). Einfluss der Bewegungsaktivität auf Wachstums- und Ausdauerparameter beim Pferd. Dissertation, Universität Kiel

Unser herzlicher Dank gilt den Betriebsleitern Ludwig Hecke und Niels von Hirschheydt, ihren Teams und den Besitzern der Pferde für das Ermöglichen der Versuche!

Einfluss von nächtlichem Weidegang auf das Bewegungsverhalten von Pferden

Influence of nocturnal grazing on the movement behaviour of horses

GUNDULA HOFFMANN¹, DORIS SCHENK², SANDRA ROSE-MEIERHÖFER¹, REINER BRUNSCH¹

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Abteilung Technik in der Tierhaltung, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Deutschland

² Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik (Pferdewissenschaften), Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen, Deutschland

Schlüsselwörter: Pferdehaltung, Bewegung, Tierverhalten, Weide
Keywords: horse husbandry, movement, animal behaviour, pasture

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war es, das Bewegungsverhalten von Pferden auf der Weide zu untersuchen, um die Möglichkeit eines Nachtweidesystems zu erörtern. Dazu fand ein Vergleich der Aktivität von Pferden tagsüber und nachts jeweils auf einem Paddock und auf einer Weide statt, und es wurde untersucht, welchen Einfluss die Tageszeit auf die Intensität der Aktivität auf Paddock und Weide hat. Die Einbindung eines GPS-Gerätes ermöglichte zudem einen kurzen Einblick in die Raumnutzung der Pferde auf der Weide.

Das Aktivitätsverhalten der Pferde auf Paddock und Weide war signifikant verschieden (höhere Durchschnittsaktivität auf der Weide). Mit dem Versuch konnte festgestellt werden, dass Pferde, auch wenn sie nachts auf die Weide kommen, den Weidegang durch erhöhte Aktivität nutzen. Das Aktivitätsniveau ist dabei in der Nacht nur geringfügig niedriger als tagsüber auf der Weide.

Summary

The aim of the study was to examine the movement behaviour of horses on a pasture, in order to discuss the possibility of a night pasture system. The activity of horses both at day and night was compared on a paddock and a pasture, respectively. In addition the influence of daytime on the intensity of activity on the paddock and pasture was investigated. The integration of a GPS device also allowed a glimpse of the space utilization of horses on a pasture.

The movement activity of the horses on paddock and pasture was significantly different (higher average activity on pasture). The investigation shows that horses, even if they come at night on the pasture, use the pasture with increased activity. The activity level is only slightly lower on the pasture at night than during the day.

1 Einleitung und Zielstellung

Das Pferd dient dem Menschen in der heutigen Zeit hauptsächlich als Freizeitpartner und nicht mehr als Arbeitstier oder zum Überleben. Mangelhafte Haltungsbedingungen sind daher unentschuldig und mindern die Leistungsfähigkeit der Pferde. Nach wie vor sind jedoch mehr als zwei Drittel der in Deutschland gehaltenen Pferde einzeln in Boxenhaltung untergebracht; eine Haltungsform, die weit davon entfernt ist, die natürlichen Bedürfnisse eines Pferdes zu decken. Allerdings wünscht sich der Pferdebesitzer häufig eine schnelle Verfügbarkeit seines Pferdes, sodass sich die Boxenhaltung immer noch durchsetzen kann. Hinzu kommt das Sicherheitsbedürfnis des Menschen. Das Pferd in einem begrenzten Raum zu wissen, gibt dem Menschen ein Gefühl von Sicherheit (ENGELMANN, 1994).

Betrachtet man die Problematik jedoch aus der Sicht des Pferdes, würde das Tier eine offene Weide wahrscheinlich als sicherer empfinden. Ein Pferd hat gerne einen guten Überblick über seine Umgebung und ausreichend Distanz zu möglichen Gefahrenquellen (REES, 1986). In einer Box oder auf einem kleinen Auslauf hat es keine bzw. fast keine Chance seinem Fluchtinstinkt zu folgen, was zu einer erhöhten Stressbelastung führen kann (GERKEN et al., 1997). Untersuchungen haben bereits gezeigt, dass ein zweistündiger Weidegang bei Pferden aus einer Gruppenhaltung zu einer signifikant höheren Bewegungsaktivität führt als ein zweistündiger Auslauf auf einem unbegrünten Paddock (HOFFMANN, 2009).

Statistische Erhebungen haben ergeben, dass die häufigsten Abgangsursachen beim Pferd Erkrankungen des Bewegungsapparates, des Atmungsapparates und des Verdauungsapparates sind. Diese werden oft durch Fehler in der Haltung bedingt (BUTLER und ARMBRUSTER, 1984). Auch in wissenschaftlichen Praxisstudien hat sich gezeigt, dass fortdauernde Haltungsmängel ganz erhebliche Folgekosten nach sich ziehen, die oft wesentlich höher zu beziffern sind als jene Mittel, die für eine optimale Haltung besser frühzeitig hätten aufgebracht werden müssen (BENDER, 1999).

Die Aufgabe der pferdehaltenden Betriebe ist es daher, Kompromisse zu schaffen, die den Pferden ein Höchstmaß an Entfaltung ihres natürlichen Verhaltens ermöglichen und den Besitzern den bestmöglichen Komfort für die Ausübung ihres Hobbys bieten.

Ziel der Untersuchung war es zu erörtern, ob die eher tagaktiven Tiere das Angebot eines nächtlichen Weidegangs mit verstärkter Bewegung nutzen würden. Dazu fand ein Vergleich der Aktivität von Pferden tagsüber und nachts jeweils auf einem Paddock und auf einer Weide statt, und es wurde untersucht, welchen Einfluss die Tageszeit auf die Intensität der Aktivität auf Paddock und Weide hat. Durch Aufzeichnungen mit einem GPS-Gerät konnte außerdem die Raumnutzung der Pferde auf der Weide dargestellt werden.

2 Tiere, Material und Methoden

Für den Versuch standen sechs Pferde (versch. Rasse und Geschlecht) im Alter zwischen 4 und 15 Jahren zur Verfügung. Die Untersuchungen fanden auf einer Weide (9 ha) und einem angrenzenden Paddock (360 m²) mit Unterstand statt.

Zur Aktivitätserfassung wurden ALT-Pedometer (Ingenieurbüro Holz, Falkenhagen) verwendet. Sie erfassten die Bewegungsaktivität, die Liegedauer (Summe von Brust- und Seitenlage) und die Temperatur am Pferdebein. Am Ende eines zuvor festgelegten Messzeitintervalls (15 Minuten) wurden die jeweils summierten Daten der Aktivitäts- und Lagesensoren sowie ein Temperaturwert im Datenspeicher abgelegt.

Für die Erfassung der Bewegungsmuster auf der Weide wurde eine GPS-Uhr (Fore-runner® 310 XT von Garmin, Olathe, Kansas, USA) eingesetzt. Das GPS-Gerät wurde am Halfter des Pferdes befestigt. Die Akkukapazität betrug ca. 20 Stunden. Das Gerät hat alle vier Sekunden die Position des Pferdes (Trackpoint) aufgezeichnet und eine Vielzahl an Messwerten gespeichert. Im Versuch wurden lediglich die gelaufene Route sowie die Durchschnittsgeschwindigkeit und gelaufene Distanz im Messzeitintervall und über den gesamten Tag erfasst.

Aufgrund der geringen Anzahl von Versuchstieren und der sehr wahrscheinlich witterungs- und vegetationsabhängigen Verhaltensweise der Pferde fand der Versuch in zwei Durchgängen statt. Der erste Versuchsdurchgang war im Februar 2010 (Winter) und der zweite Durchgang zur Wiederholung des Versuchs erstreckte sich von Ende April bis Ende Mai 2010 (Frühling). Tabelle 1 stellt den Versuchsablauf dar.

Tab. 1: Versuchsablauf mit den Phasen der Gewöhnung (Gew.) und den Varianten Tagweide (Variante I) und Nachtweide (Variante II)

Tab. 1: Progress of experiments with the periods of habituation (Gew.) and the variants of day pasture (Variante I) and night pasture (Variante II)

Kalenderwoche (Jahr 2010)	4	5	6	7	8	9	16	17	18	19	20
Versuchsabschnitt	Gew.	Variante I	Gew.	Variante II	Gew.	Variante II	Gew.	Variante II	Gew.	Variante I	
Durchgang	Winter						Frühling				

Die beiden Versuchsdurchgänge (Winter und Frühling) unterteilten sich jeweils in zwei Varianten. In Variante I (Tagweide) hatten die Pferde täglich von 7–17 Uhr (zweiter Durchgang 8–18 Uhr) Weidegang und standen nachts auf dem angrenzenden Paddock. In Variante II (Nachtweide) standen die Pferde tagsüber von 7–17 Uhr (bzw. 8–18 Uhr) auf dem Paddock und erhielten nachts Weidegang. Vor den Varianten fand jeweils eine siebentägige Gewöhnung an den neuen Tagesablauf statt. Die anschließende Datenerfassung erstreckte sich in jeder Variante über zehn Tage.

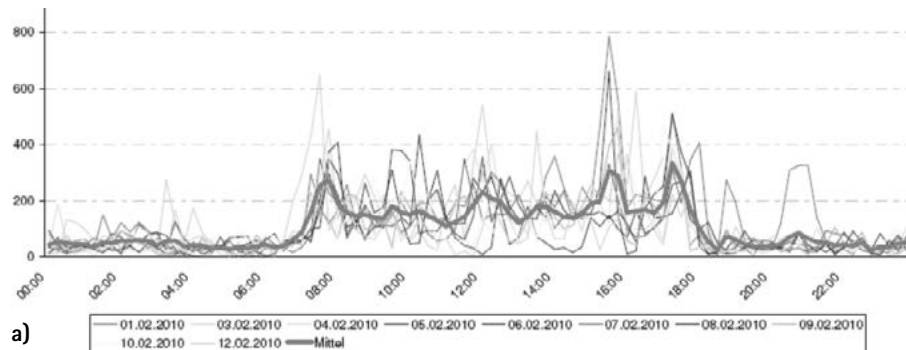
Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS für Windows, Version 16.0 (Firma SPSS Inc., Chicago, USA) und ein Teil der Grafiken wurde mit dem Programm Microsoft Office Excel 2007 erstellt. Ein Test auf Normalverteilung (Lilliefors-Test) hat ergeben, dass die Daten nicht normal verteilt sind. Die Auswertung erfolgte daher mittels nonparametrischer Tests. Dabei kam der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben zum Einsatz. Je nach Fragestellung wurden die Daten für die statistische Analyse entsprechend gruppiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Bewegungsaktivität in Abhängigkeit der Tagesszeit

In der Variante I (Tagweide) zeigte das Bewegungsprofil der Pferde tagsüber eine höhere Bewegungsaktivität als nachts (Abb. 1a). Im Frühjahr begann die tägliche Aktivitätsphase bei der Tagweide allerdings früher als im Winter und endete später. Unabhängig von der Zeit, zu der die Pferde von der Weide zum Paddock oder umgekehrt wechselten, war eine erhöhte Aktivität bei Helligkeit (ca. 4–21 Uhr) zu verzeichnen. Abbildung 1b zeigt die täglichen Aktivitätsmuster der Pferde in der Variante II (Nachtweide) im Winter. Es ist ein klarer Unterschied zwischen Paddock (7–17 Uhr) und Weide erkennbar.

Bewegungsimpulse (movement impulses)/15 min.



Bewegungsimpulse (movement impulses)/15 min.

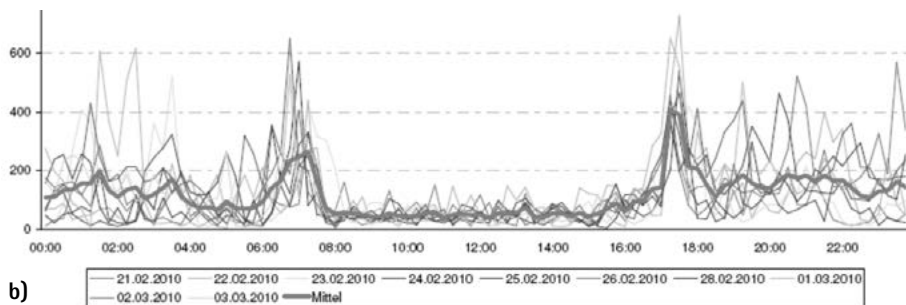


Abb. 1: Aktivitätsprofil der Pferde im Winter

a) Tagweide (Weidezeit 7–17 Uhr), b) Nachtweide (Weidezeit 17–7 Uhr)

Fig. 1: Activity profil of the horses during winter time

a) day pasture (grazing period 7 a.m.–5 p.m.), b) night pasture (grazing period 5 p.m.–7 a.m.)

3.2 Bewegungsaktivität in Abhängigkeit der Versuchsvarianten

Während der Untersuchungen stellte sich heraus, dass über den gesamten Versuchszeitraum das System der Nachtweide bei allen Versuchstieren zu einer signifikant höheren Gesamtaktivität (bezogen auf 24 Stunden) führte als die Tagweide.

Insgesamt ist die Bewegungsaktivität der Pferde in den Varianten Tagweide und Nachtweide zwar ähnlich (Abb. 2), aber der Mann-Whitney-Test ergab, dass die Verteilungen im Winter mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % signifikant verschieden sind, im Frühling hingegen nicht.

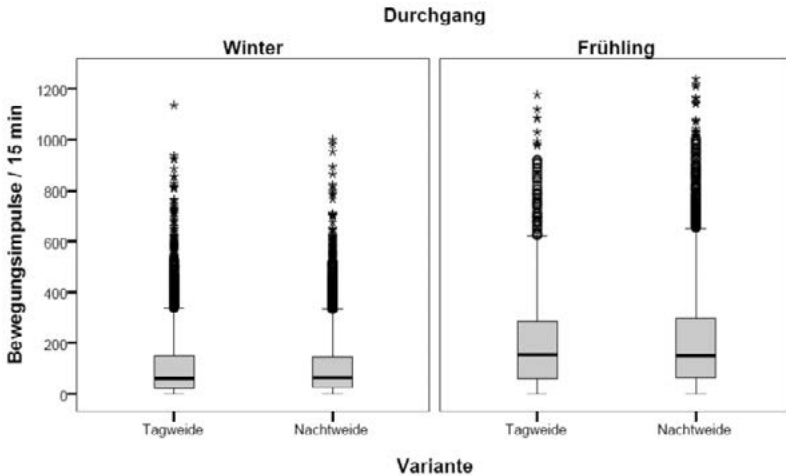


Abb. 2: Vergleich der täglichen Bewegungsaktivität in den Varianten Tag- und Nachtweide
 Fig. 2: Comparison of the daily movement activity in the variants of day- and night pasture

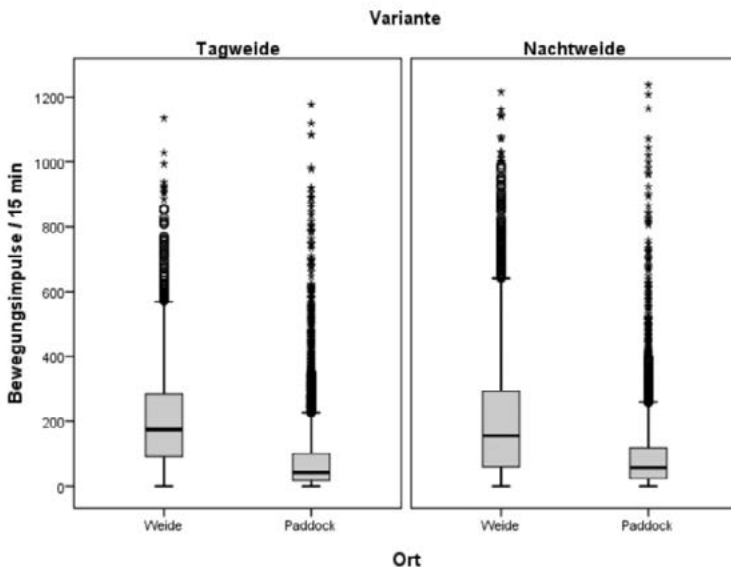


Abb. 3: Bewegungsaktivität der Pferde auf der Weide bzw. auf dem Paddock im Tag- bzw. Nachtweide-system
 Fig. 3: Movement activity of the horses on the pasture or the paddock during day- and night pasture system

Sowohl im Tagweidesystem als auch im Nachtweidesystem ist die Aktivität der Pferde auf der Weide deutlich höher als auf dem Paddock (Abb. 3). Unabhängig von der Tageszeit, zu der die Pferde auf der Weide bzw. auf dem Paddock sind, zeigen sie auf dem Paddock eine signifikant geringere Aktivität als auf der Weide ($P < 0,001$).

3.3 Raumausnutzung und Bewegungsmuster

Aufgrund einer kurzen Verfügbarkeit der GPS-Uhr konnten die GPS-Daten nur an sieben Tagen und zwei Nächten aufgezeichnet werden. Da die Akkuleistung des Gerätes nur für ca. 20 Stunden ausreichte, konnte entweder nur der Tag oder nur die Nacht erfasst werden.



Abb. 4: GPS-Bewegungsmuster auf der Weide an verschiedenen Versuchstagen

Fig. 4: GPS-movement patterns on the pasture on different experimental days

Abbildung 4 zeigt die Bewegungsmuster der Pferde an den entsprechenden Aufzeichnungstagen übereinander projiziert auf einem Satellitenbild. Es ist zu erkennen, dass fast die gesamte Fläche der ca. 9 ha großen Weide genutzt wurde. Dabei wurden bestimmte Bereiche häufiger aufgesucht. Es gibt nur zwei Bereiche, in denen sich die Herde eher selten aufhielt.

Die erfassten Wegstrecken aller Messtage ergaben eine Spannweite von 0,6 bis 0,9 km zurückgelegte Wegstrecke pro Stunde. Dies ist jedoch ein theoretischer Wert, da die Ruhe- und Aktivitätsphasen wechselten. Der Vergleich von Tag und Nacht zeigte allerdings, dass die durchschnittlich zurückgelegte Wegstrecke tagsüber (760 m pro Stunde) und nachts (650 m pro Stunde) sehr ähnlich war. An den 5 Tagen, an denen der Weidegang vollständig erfasst wurde, konnte in dieser Untersuchung eine Strecke zwischen 7,7 und 10,9 km (während der 10-stündigen Weidezeit) festgestellt werden, was den zurückgelegten Wegstrecken von Wildpferden ähnelt. Deren täglich zurückgelegte Strecken richten sich aber in erster Linie nach den ökologischen Gegebenheiten des von ihnen bewohnten Terrains. In den Prärien Nordamerikas legen Wildpferde täglich bis zu 16

Kilometer (\varnothing 667 m pro Stunde) zurück (GEISER, 2001), und auch BENDER (1999) gibt an, dass sich Pferde in freier Wildbahn 20 bis 30 km entfernt um ihre Wasserstellen herum aufhalten. Untersuchungen an Haflingern ergaben hingegen, dass diese domestizierten Pferde bei reiner Weidehaltung im Durchschnitt innerhalb von 24 Stunden ca. 8,4 km zurücklegen (FRENTZEN, 1994).

Da die Werte der untersuchten Pferde nicht wesentlich von denen aus der Literatur über verwilderte Pferde abweichen, kann davon ausgegangen werden, dass die Pferde auf der Weide über ausreichend Bewegungsfreiheit verfügten und ihren natürlichen Bewegungsdrang ausleben konnten. Auch wenn sie nachts auf der Weide waren, war die gelaufene Strecke nicht wesentlich geringer. Somit kann auch ein nächtlicher Weidegang zur Erfüllung des täglichen Bewegungsbedürfnisses der Pferde dienen. Im Vergleich zu wild lebenden Pferden konnte sich die Versuchsherde nur tags oder nachts auf der Weide frei bewegen. Offensichtlich gleichen sie die kürzere Verfügbarkeit von Weidezeit aber durch mehr Bewegung in dieser Zeit aus und kommen so auf ungefähr genauso weite Strecken.

4 Schlussfolgerungen

Mit der vorliegenden Untersuchung konnte deutlich gemacht werden, dass Pferde das Angebot eines nächtlichen Weidegangs gerne nutzen. Tendenziell weisen sie nachts auf der Weide zwar eine geringere Aktivität auf, als wenn sie tagsüber weiden, dies gleicht sich jedoch mit einer höheren Aktivität auf dem Paddock am Tage gegenüber der Nacht aus. In dieser Untersuchung ergab das Nachtweidesystem sogar eine etwas höhere Gesamtaktivität (pro 24 Stunden). Der Versuch fand auf einer Weide statt, die für die sechs Pferde ein deutliches Überangebot an Raum und Futter bot. Dennoch nutzten die Tiere die gesamte Fläche. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass Pferde ihre Weide nicht nur als Futtergrundlage nutzen, sondern wie ihre wildlebenden Vorfahren durch ihr gesamtes Weidegebiet streifen. Das Angebot von Platz fördert somit die Bewegung der Pferde.

In Hinblick auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Pferde sollten jedoch noch die Auswirkungen dieses Rhythmuswechsels auf die eigentlich tagaktiven Tiere untersucht werden. Um zufällige Faktoren wie Wetter und Insekten auszuschließen und sichere Erkenntnisse über das allgemeine Verhalten von Pferden auf der Weide gewinnen zu können, müsste der Versuch außerdem langfristiger und mit mehreren unabhängigen Herden durchgeführt werden.

Möchte man das System der Nachtweide auf die konventionelle Boxenhaltung übertragen, würden sich folgende Vorteile ergeben: Die Haltung könnte gegenüber der reinen Boxenhaltung artgerechter gestaltet werden, die Pferde hätten in der Nacht ausreichend Gelegenheit zu freier Bewegung und im Sommer könnten Belastungen durch Insekten und Hitze reduziert werden. Außerdem könnte das Pferd tagsüber für den Reiter ohne lange Laufwege jederzeit verfügbar sein und muss nicht zwingend täglich durch den Besitzer bewegt werden, da es jede Nacht viel freie Bewegung hätte.

Das System der Nachtweide könnte daher einen guten Kompromiss zwischen den Ansprüchen der artgerechten Haltung und der ständigen Verfügbarkeit des Pferdes für

den Besitzer darstellen und einige Vorteile für Mensch und Tier bieten. In vielen Ställen wird allerdings eine ausreichende Verfügbarkeit von Weidefläche der limitierende Faktor sein. Zudem ist zu untersuchen, inwieweit die Einsteller ein solches System akzeptieren würden.

Literatur

- Bender, I. (1999): Praxishandbuch Pferdehaltung. Kosmos Verlag, Stuttgart
- Butler, I.; Armbruster, B. (1984): Struktur und Abgangsursachen bei Schlachtpferden. Deutsche tierärztliche Wochenschrift 91, 330–331
- Engelmann, U. (1994): Welche Haltung für mein Pferd?, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart
- Frentzen, F. (1994): Bewegungsaktivitäten und -verhalten von Pferden in Abhängigkeit von Aufstallungsform und Fütterungsrhythmus unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlich gestalteter Auslaufsysteme. Dissertation, Hannover
- Geiser, F. (2001): Pferde richtig halten. Bundesamt für Veterinärwesen (BVET) der Schweiz, URL: <http://www.bvet.admin.ch/> (Zugriffsdatum: 13.12.2005)
- Gerken, M.; Kiene, M.; Kreimeier, P.; Bockisch, F.-J. (1997): Verhalten von Trabrennpferden in Gruppenauslaufhaltung und in Einzelhaltung. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 1996: Vorträge anlässlich der 28. Int. Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren der DVG, Fachgruppe Verhaltensforschung, vom 7. bis 9. November 1996 in Freiburg/Breisgau, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 132–143
- Hoffmann, G.; Bockisch, F.-J.; Kreimeier, P. (2009): Einfluss des Haltungssystems auf die Bewegungsaktivität und Stressbelastung bei Pferden in Auslaufhaltungssystemen. Landbauforschung, 59, Heft 2, 105–112
- Rees, L. (1986): Das Wesen des Pferdes. 2. Auflage, Müller Rüschnikon Verlag, Cham

Experimentelle Untersuchungen zur schwebstaubmindernden Wirkung bei der Zugabe von Flüssigadditiven zu Hafer für Pferde

Experimental research relating to the airborne dust reduction potential of liquide additives mixed with oat for horses

FELIX GARLIPP, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE

Department für Nutztierwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft, Universitätsstr. 7, 49377 Vechta, Deutschland

Schlüsselwörter: Pferdehaltung, Futtermittel, Schwebstaubpartikel, Flüssigzusatzmittel
Keywords: horse husbandry, feeds, airborne particles, liquide additives

Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, die schwebstaubmindernde Wirkung von drei Flüssigadditiven in drei unterschiedlichen Konzentrationen (1 %, 2 %, 3 %) bei der Zugabe zu ganzem und gequetschtem Hafer unter Laborbedingungen zu analysieren. Zur Schwebstaubdifferenzierung wurden drei verschiedenen Messköpfe verwendet: PM_{20} ($< 20 \mu m$), PM_{10} ($< 10 \mu m$), $PM_{2,5}$ ($< 2,5 \mu m$). Durch die 1 %-ige Zugabe von Öl konnte insgesamt eine 90,6 %-ige Schwebstaubminderung ($120,3 \mu g/m^3$) erzielt werden (PM_{20}). Bei gleicher Dosierung von Wasser bzw. Melasse kam es lediglich zu einer 60,4 %-igen ($504,6 \mu g/m^3$) bzw. 69,1 %-igen ($393,2 \mu g/m^3$) Schwebstaubreduzierung. Insgesamt konnte in Partikelfraktion PM_{20} die signifikant ($P < 0,0001$) höchste Schwebstaubreduzierung mit 96,5 % (PM_{10} 95 %; $PM_{2,5}$ 79,5 %) durch die 3 %-ige Zugabe von Öl gegenüber 75,6 % (PM_{10} 73,7 %; $PM_{2,5}$ 63,4 %) durch Wasser (3 %) bzw. 81,9 % (PM_{10} 90,6 %; $PM_{2,5}$ 70,5 %) durch Melasse (3 %) erzielt werden.

Summary

Aim of this study was to analyze the effect of three different liquid additives in three different concentrations (1 %, 2 %, 3 %) mixed with cleaned whole or rolled oats on the generation of airborne particles under standardized laboratory conditions. The airborne particle concentration has been detected in three different particle fractions using three different sampling inlets: PM_{20} ($< 20 \mu m$), PM_{10} ($< 10 \mu m$), $PM_{2,5}$ ($< 2.5 \mu m$). By the addition of 1 % oil, a reduction in the PM_{20} fraction of 90.6 % ($120.3 \mu g/m^3$) could be achieved. The same dosage of water or molasses only resulted in a reduction of 60.4 % ($504.6 \mu g/m^3$) or 69.1 % ($393.2 \mu g/m^3$), respectively. Overall, the highest significant reduction in the PM_{20} fraction was achieved using 3 % rapeseed oil: 96.5 % (PM_{10} 95 %; $PM_{2,5}$ 79.5 %) compared to 75.6 % (PM_{10} 73.7 %; $PM_{2,5}$ 63.4 %) for 3 % water and 81.9 % (PM_{10} 90.6 %; $PM_{2,5}$ 70.5 %) for 3 % molasses.

1 Einleitung und Zielsetzung

Der Einfluss erhöhter Schwebstaubkonzentrationen in der Stallluft auf respiratorische Erkrankungen (Chronic obstructive pulmonary disease, Organic Dust Toxic Syndrom) bei Tieren und Menschen wurde in zahlreichen Studien bewiesen (CLARK, 1987). Vor allem der Respirationstrakt des Pferdes reagiert sehr empfindlich auf Schwebstaub. In einer Vielzahl von Untersuchungen konnte analysiert werden, dass von Einstreumaterialien sowie Raufuttermitteln die höchste Generierung luftgetragener Partikel in Pferdeställen ausgeht (CLARK, 1987; FLEMING et al., 2008). Die Schwebstaubgenerierung aus Krippenfuttermitteln wird oftmals vernachlässigt, wobei diese im direkten Einatmungsbereich des Pferdes beim Füttern generiert und beim Fressen eingeatmet wird. Dass auch von diesen eine nicht unerhebliche Schwebstaubkonzentration ausgeht konnten HESSEL et al. (2009) in verschiedenen standardisierten Laborversuchen beweisen. Dabei generierte ungereinigter ganzer Hafer eine mittlere ($n = 3$) Schwebstaubkonzentration (PM_{20}) von $9,4 \text{ g/m}^3$ und gereinigter Hafer von $2,5 \text{ g/m}^3$. Demnach konnte alleinig durch die Trockenreinigung (Aussieben und Absaugen von Partikeln) von Hafer eine Schwebstaubreduzierung von bis zu 80 % erzielt werden (PM_{20} , PM_{10}) (HESSEL et al., 2009). Eine weitere Option eine Schwebstaubreduktion zu erzielen, welche bisher primär in der Schweine- und Geflügelhaltung untersucht wurde, stellt das Mischen von Kraftfuttermitteln mit Tierfetten oder Pflanzenölen dar, wodurch eine Reduzierung des Futterstaubes von 35–70 % erreicht werden konnte (GAST und BUNDY, 1986). Untersuchungen von WELFORD et al. (1992) ergaben eine 31%-ige Schwebstaubreduzierung (PM_{20}) durch die Zugabe von 2 % Öl zu geschrotetem Schweinfutter. HEBER und MARTIN (1988) erhöhten durch die Zugabe von Wasser den Feuchtegehalt in gemahlenem Schweinefutter von 9 % auf 12 % und konnten somit eine Schwebstaubreduzierung von 22 % erzielen.

Dementsprechend war es das Ziel dieser Studie, die schwebstaubmindernde Wirkung von drei Flüssigadditiven (Wasser, Rapsöl, Zuckerrübenmelasse) in drei unterschiedlichen Konzentrationen (1 %, 2 %, 3 %) bei der Zugabe zu ganzem und gequetschtem Hafer unter Laborbedingungen zu analysieren.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsaufbau

Der Effekt des Zumischens von Flüssigzusatzmitteln auf die Schwebstaubgenerierung wurde unter standardisierten Bedingungen anhand von ganz und gequetscht gereinigtem Hafer untersucht. Für die Analysen wurden insgesamt 800 kg handelsüblicher, gereinigter ungequetschter Hafer (Litergewicht = 530 g) verwendet. Die gesamte Hafermenge stammte aus einer Charge. Die nachfolgenden drei Flüssigzusatzmittel wurden ausgewählt:

- Leitungswasser
- Rapsöl (APTI, Zentrale Handelsgesellschaft - ZHG - mbH, Deutschland)
- Zuckerrübenmelasse (42 % Zuckergehalt; MIAVIT GmbH, Deutschland)

Um die Menge an Flüssigzusätzen zu ermitteln, welche aus Sicht der Schwebstaubreduzierung am effizientesten ist, wurde jedes Flüssigzusatzmittel in drei verschiedenen Konzentrationen zu 2 kg Hafer dosiert. Es wurden folgende Massenkonzentrationen, bezogen auf 2 kg Hafer, verwendet: 1 % (20 g = 20 ml Wasser, 23 ml Öl, 18 ml Melasse), 2 % (40 g = 40 ml Wasser, 46 ml Öl, 36 ml Melasse), 3 % (60 g = 60 ml Wasser, 69 ml Öl, 54 ml Melasse).

2.2 Misch- und Analysetechnik

Das Anmischen (Hafer und Flüssigzusatz) erfolgte mithilfe des Tisch-Cutters ST11 (Albert Schumann GmbH, Deutschland). Dieser bestand aus einer 15 cm tiefen, geschlossenen Halbschale ($d = 55$ cm), welche durch einen Motor angetrieben, mit einer konstanten Geschwindigkeit (19 U/min) rotierte. Durch einen Schlitz (1 cm breit und 5 cm lang) im Deckel wurde vertikal eine Mischschnecke in die Halbschale eingelassen, welche entgegen der Rotationsbewegung der Halbschale eine eigene Drehbewegung ausführte (100 U/Min).

Mithilfe des gravimetrisch messende Online-Schwebstaubmessgerätes TEOM 1400a der Firma Rupprecht und Patashnick Company (USA) wurde von jedem Gemisch die Schwebstaubgenerierung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] über 60 Minuten analysiert (pro Minute ein Messwert). Dieses wurde in eine eigens für diese Studie entwickelte Staubkammer (1,5 m \times 1 m \times 1 m) integriert. Für eine standardisierte Materialzufuhr, wurde an der Außenseite der Kammer ein Einfüllbehälter mit Schiebevorrichtung installiert. Durch das Öffnen dieser, wurde das Material über eine Rutsche ins Innere der Kammer gebracht, wo es in eine Halbschale ($d = 0,5$ m) fiel, welche den Futtertrog simulierte. Zur Schwebstaubdifferenzierung wurden drei verschiedene Messköpfe verwendet, welche in einer Höhe von 1,0 m über der Halbschale installiert wurden.

- $\text{PM}_{20} \leq 20 \mu\text{m}$ (Gesamtschwebstaub)
- $\text{PM}_{10} < 10 \mu\text{m}$ (thoraxgängiger Schwebstaubanteil)
- $\text{PM}_{2,5} < 2,5 \mu\text{m}$ (alveolargängiger Schwebstaubanteil)

2.3 Versuchsdurchführung

Die Hälfte (400 kg) der Gesamtmenge des gereinigten Hafers wurde gequetscht. Das Reinigen erfolgte im Vorfeld der Untersuchungen mithilfe des Aspiratuer OPTIMA 2002 NA (ZUTHER GmbH, Karwitz, Deutschland). Das Quetschen (Haferquetsche Universal, Sommer Maschinenbau GmbH, Deutschland) fand unmittelbar vor Versuchsbeginn statt. Vor Beginn der Schwebstaubmessungen wurde von dem Hafer (ganz, gequetscht) durch Sieben die partikuläre Zusammensetzung in zwei Partikelgrößen (> 1 mm, < 1 mm) bestimmt. Des Weiteren wurde die Absorptionsfähigkeit des Hafers in Bezug auf die drei Flüssigzusatzmittel analysiert. Dazu wurden 50 g des Hafers (ganz, gequetscht) mit 150 ml des jeweiligen Flüssigzusatzmittels vermischt. Zum Abtropfen wurde das Gemisch nach zwei Stunden für fünf Minuten in ein Sieb (Maschenweite 2 mm) gefüllt. Danach wurde der Hafer erneut gewogen ($n = 3$).

Zusätzlich wurde die Fließgeschwindigkeit der Flüssigzusätze analysiert. Dazu wurden 5 ml des jeweiligen Flüssigzusatzmittels in einen Trichter ($d = 6$ cm) gefüllt, welcher unterhalb verschlossen war. Nach dem Öffnen des Verschlusses wurde die Zeit gestoppt bis optisch keine Flüssigkeit mehr im Trichter zu sehen war ($n = 3$).

Vor jeder Schwebstaubmessung wurden 2 kg des Hafers abgewogen und in die Halbschale der Mischervorrichtung gefüllt. Danach wurde die entsprechende Menge des jeweiligen Flüssigzusatzes abgewogen und in eine Spritze aufgezogen. Nach dem Starten beider Motoren (Halbschale und Mischschnecke) wurde die Flüssigkeit über eine Öffnung im Deckel dem Hafer manuell zudosiert. Jeder Mischvorgang dauerte fünf Minuten. Danach wurde das Gemisch aus der Halbschale entnommen und zurückgewogen. Das Gemisch wurde direkt im Anschluss an den Mischvorgang in den Einfüllbehälter an der Außenseite der Staubkammer gefüllt. Mit dem Öffnen der Schiebevorrichtung rutschte das Gemisch ins Innere der Staubkammer, womit die Messung der Schwebstaubkonzentration begann (drei Wiederholungen pro Messkopf, Hafertyp, Flüssigzusatzmittel und Konzentration = 162 Versuchsdurchgänge). Des Weiteren wurden 18 Messungen der Schwebstaubgenerierung des Hafers ohne Zusatz (0-Probe) vorgenommen (drei Wiederholungen pro Messkopf und Hafertyp), sodass insgesamt 180 Messungen á 60 Minuten in dieser Studie durchgeführt wurden. Um den Einfluss der Mischvorrichtung auf die Höhe der Schwebstaubgenerierung auszuschließen, wurden auch die 0-Proben vor Beginn der Schwebstaubmessungen, für fünf Minuten im Mischer bearbeitet.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mithilfe des Programms SAS 9.1 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Mit der Prozedur GLM wurden Varianzanalysen für die jeweiligen Datensätze durchgeführt, wodurch der Einfluss der fixen Faktoren „Flüssigzusatzmittel“ und „Konzentration“ sowie die Interaktion zwischen beiden auf die mittlere 60 Minuten Schwebstaubkonzentration (C_{mean} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]) geschätzt wurde. Zusätzlich wurden die mittlere Absorptionsfähigkeit, Fließgeschwindigkeit und partikuläre Zusammensetzung bestimmt. Mithilfe des t-Tests wurden signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$) ermittelt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Partikuläre Zusammensetzung

Insgesamt lag der Anteil an Partikeln der Größe < 1 mm auf einem sehr niedrigen Niveau von unter 1 %. Ganzer Hafer ohne Zusatz (0-Probe) wies einen deutlich niedrigeren Anteil der Fraktion < 1 mm von 1,3 g im Vergleich zu 5,47 g bei gequetschtem Hafer auf. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit den Untersuchungen von HESSEL et al. (2009), wo der gereinigte gequetschte Hafer (gleiche Prozedur der Reinigung und des Quetschens), einen deutlich höheren Anteil an Kleinstpartikeln (< 1 mm) gegenüber ganzem Hafer aufwies. Als möglichen Grund dafür geben die Autoren die Bildung von Kleinstpartikeln (< 1 mm) infolge des Quetschens an. Die Analysen dieser Studie ergaben weiterhin, dass bei ganzem und gequetschtem Hafer durch das Mischen mit den unterschiedlichen Zusätzen der Anteil der Fraktion < 1 mm bei allen Konzentrationen abnahm. Das Mischen mit Öl (1 %, 2 %) führte bei beiden Hafertypen zu einem niedrigeren Anteil der Fraktion < 1 mm gegenüber Wasser und Melasse. Bei ganzem Hafer lag der Anteil an Partikeln der Größe < 1 mm infolge der 3 %-igen Zugabe von allen Flüssigzusatzmitteln auf dem gleichen Niveau. Bei gequetschtem Hafer führte das Mischen mit 3 % Öl zum niedrigsten Anteil (1,45 g) an Partikeln der Größe < 1 mm gegenüber der 3 %-igen Mischung mit Wasser (2,03 g) und Melasse (2,5 g).

Fließgeschwindigkeit der Flüssigzusätze und Absorptionsfähigkeit von Hafer

In Bezug auf die Fließgeschwindigkeit der jeweiligen Zusätze (50 ml) benötigte Wasser eine mittlere Dauer zum Passieren des 6 cm langen ($d = 0,6$ cm) Trichterstückes von 3,34 Sekunden (Öl 6,83 s). Im Vergleich aller Zusätze floss Melasse am zähflüssigsten (33,44 s). Beide Hafertypen wiesen in Anbetracht der einzelnen Zusätze die signifikant ($P < 0.0001$) höchste Absorption von Melasse auf. Dabei konnte die Menge von 50 g gequetschtem Hafer 75,24 % der Melasse (150 mg) aufnehmen und ganzer Hafer 31,75 %. Bei beiden Hafertypen wurde Öl am wenigsten aufgenommen (Hafer ganz 15,97 %; Hafer gequetscht 33,65 %). Ein möglicher Grund dafür könnte in den Fließeigenschaften der Zusätze begründet sein. Wasser weist von allen drei Zusätzen die niedrigste Viskosität auf, wodurch es sein könnte, dass Wasser deutlich schneller vom Hafer absorbiert wird und somit in die Interzellularräume eindringt als die deutlich zähflüssigeren Zusätze Öl und Melasse. Dies würde die Aussage von SALYER et al. (1970) bestätigen, wonach Öl weniger als andere Flüssigkeiten (Wasser) von Feststoffen absorbiert wird. Die hohe Absorption der Melasse könnte darin begründet sein, dass Melasse aufgrund der deutlich höheren Viskosität und dem hohen Zuckeranteil verstärkt am Kornäußeren haften bleibt.

Schwebstaubanalysen Effekt – Flüssigzusatzmittel –

In Abhängigkeit des jeweiligen Flüssigzusatzmittels hatte in allen Partikelfractionen das Zumischen von Öl insgesamt den signifikant höchsten Effekt. Abbildung 1 stellt die C_{mean} in Abhängigkeit vom Faktor „Flüssigzusatzmittel“ grafisch dar.

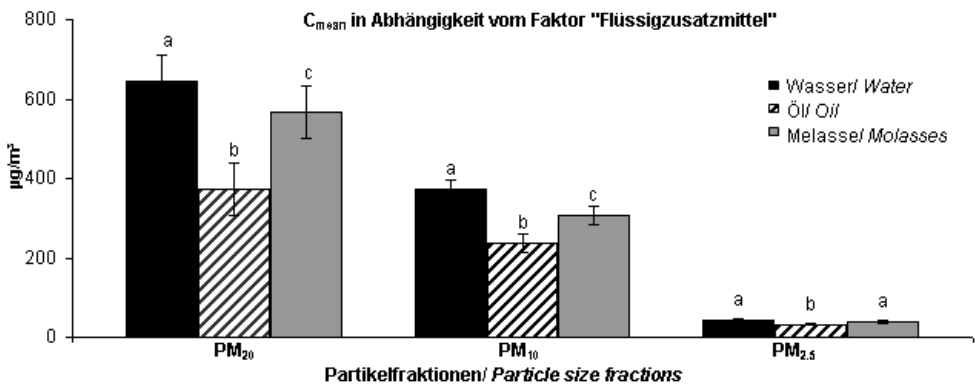


Abb. 1: C_{mean} und Standardfehler der Partikelfractionen PM₂₀, PM₁₀ und PM_{2,5} in Abhängigkeit vom Faktor „Flüssigzusatzmittel“ ($n = 24$ pro Fraktion und Flüssigzusatzmittel). a, b, c = Werte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Partikelfraktion unterscheiden sich signifikant voneinander ($P \leq 0,05$)
 Fig. 1: Least squares means and standard error of airborne particle concentrations (C_{mean}) PM₂₀, PM₁₀ and PM_{2,5} depending on the factor "additive" ($n = 24$ per additive and particle size fraction). a, b, c = different letters within a particle fraction means the values differ significantly ($P \leq 0.05$)

Insgesamt generierte das Hafer-Öl-Gemisch in Partikelfraktion PM₂₀ die signifikant niedrigste mittlere Schwebstaubkonzentration von 372,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber 643,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des Hafer-Wasser-Gemisches ($P < 0.0001$) und 565,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des Hafer-Melasse-Gemi-

ches ($P = 0.0008$). In der Partikelfraktion PM_{10} generierte insgesamt das Hafer-Öl-Gemisch eine 36 % bzw. 23 % niedrigere Schwebstaubkonzentration gegenüber dem Hafer-Wasser-Gemisch bzw. dem Hafer-Melasse-Gemisch. In beiden Partikelfractionen fiel die Schwebstaubgenerierung des Hafer-Melasse-Gemisches signifikant (PM_{20} $P = 0.0427$; PM_{10} $P = 0.0015$) niedriger im Vergleich zu der des Hafer-Wasser-Gemisches aus. In $PM_{2,5}$ traten zwischen beiden Gemischen keine signifikanten Unterschiede auf (Abb. 1). Einer der Gründe für die signifikant höchste Schwebstaubreduzierung durch Öl könnte die Ausbildung des Ölfilms an der Kornoberfläche darstellen, wodurch das Anhaften der Staubpartikel an der mit Öl benetzten Oberfläche gewährleistet wird. Diese Filmbildung ist bei Wasser nicht gegeben. SALYER et al. (1970) beschreiben die sogenannte Adhäsionskraft als eine der wichtigsten Eigenschaften von Öl, wonach diese ein Maß für den Grad der Benetzung eines Festkörpers durch eine Flüssigkeit ist. Der Ölfilm auf der Kornoberfläche gewährleistet ein totales Umschließen des Partikels, und ein neuerliches „Aufwirbeln“ wird verhindert.

Schwebstaubanalysen Effekt – Konzentration –

Insgesamt kam es in allen Partikelfractionen infolge der 1%-igen Zugabe zu einer signifikanten ($P < 0.0001$) Reduktion der Schwebstaubgenerierung gegenüber den 0-Proben. Abbildung 2 stellt die C_{mean} in Abhängigkeit vom Faktor „Konzentration“ grafisch dar. Zu einer signifikanten Schwebstaubreduktion kam es insgesamt auch in allen Partikelfractionen von der 1 %-igen zur 2 %-igen Zugabe der Flüssigzusätze. Durch das Erhöhen der Konzentration an Flüssigzusatz von 2 % auf 3 % kam es nur in Partikelfraktion PM_{10} zu einer signifikanten ($P = 0.0025$) Schwebstaubminderung. Insgesamt ergab sich durch die 3 %-ige Zugabe eine Schwebstaubreduktion von -84,7 % in Partikelfraktion PM_{20} ($PM_{10} = -86,4$ %; $PM_{2,5} = -71,2$ %) (Abb. 2). Auch GAST und BUNDY (1986) konnten eine proportionale Abnahme der Schwebstaubgenerierung durch die Erhöhung der Konzentration an Öl in geschrotetem Schweinefutter analysieren.

Des Weiteren fiel auf, dass die prozentuale Schwebstaubreduktion durch die jeweiligen Konzentrationen der Flüssigzusatzmittel in den Partikelfractionen PM_{20} und PM_{10} annähernd gleich hoch war, wobei in Partikelfraktion $PM_{2,5}$ diese deutlich geringer ausfiel. Es scheint so, dass der Abscheidegrad von Partikeln mit kleiner werdender Partikelgröße abnimmt. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass die größeren Schwebstaubpartikel deutlich besser gebunden werden im Vergleich zu den kleineren Partikeln, was durch die von BUTERA et al. (1991) beschriebene Clusterbildung erklärt werden könnte, wonach hauptsächlich Grobstaubpartikeln ($\leq 20 \mu m$) bei einem erhöhten Feuchtegehalt Cluster bilden, welche durch Sedimentation dem Gesamtstaubgehalt der Luft entzogen werden. Ein weiterer Grund könnte auch die deutlich niedrigere Ausgangskonzentration (0-Probe) in der Partikelfractionen $PM_{2,5}$ darstellen, wodurch ein geringerer Minderungseffekt dieser Partikel ($< 2,5 \mu m$) zu erwarten wäre.

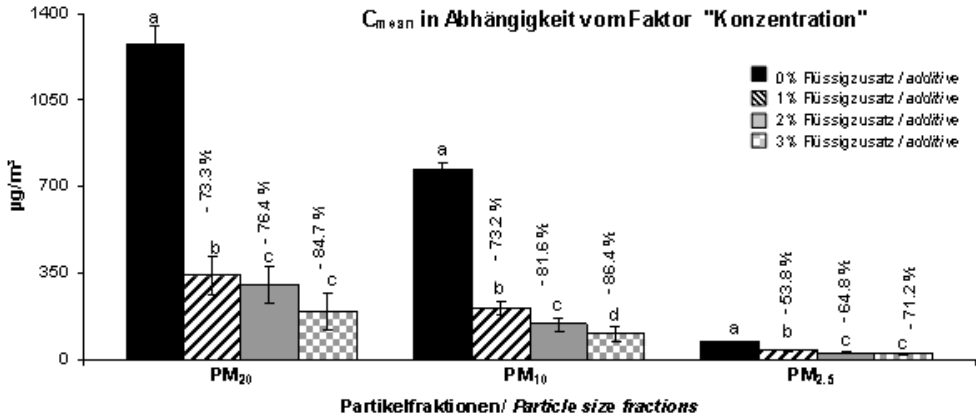


Abb. 2: C_{mean} und Standardfehler (PM₂₀, PM₁₀, PM_{2,5}) in Abhängigkeit vom Faktor „Konzentration“ (n = 18 pro Konzentration und Fraktion) sowie die Schwebstaubreduzierung [%] gegenüber der 0-Probe. a, b, c, d = Werte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Partikelfraktion unterscheiden sich signifikant voneinander (P ≤ 0,05)

Fig. 2: C_{mean} and standard error (PM₂₀, PM₁₀, PM_{2,5}) depending on the factor "concentration" (n = 18 per concentration and particle size fraction) and airborne particle reduction [%] with respect to the airborne particle generation of the controls (0 % additive). a, b, c, d = different letters within a particle fraction means the values differ significantly (P ≤ 0.05)

Schwebstaubanalysen Interaktion – Flüssigzusatzmittel und Konzentration –

Die Interaktion zwischen beiden Faktoren hatte nur in Partikelfraktion PM₁₀ einen signifikanten (P = 0.0016) Effekt auf die Schwebstaubgenerierung. Das Gemisch aus Hafer und 1 % Öl generierte in Partikelfraktion PM₁₀ die signifikant (P < 0.0001) niedrigste Schwebstaubkonzentration von 81,2 µg/m³ gegenüber Wasser (300,3 µg/m³) und Melasse (236,2 µg/m³). Bei der Dosierung von 2 % generierte ebenfalls das Gemisch aus Hafer und Öl die signifikant niedrigste Schwebstaubkonzentration gegenüber Wasser (P < 0.0001) und Melasse (P = 0.0024). Durch die 3 %-ige Zugabe von Öl zu Hafer konnte insgesamt eine 95 %-ige Schwebstaubreduzierung erzielt werden. Die Schwebstaubkonzentrationen der Gemische aus 3 % Wasser und Melasse fielen signifikant höher im Vergleich zu der des Gemisches von 3 % Öl aus und bewirkten eine 73,7 %-ige (Wasser) bzw. 90,6 %-ige (Melasse) Reduktion (Abb. 3).

Schlussfolgernd zeigen die Ergebnisse, dass die Zugabe von Wasser die signifikant niedrigste Schwebstaubreduktion bewirkt. Durch die Zugabe von Öl trat in allen Partikelfraktionen die höchste Schwebstaubreduzierung auf, sodass aus Sicht der Partikelminderung, Öl als Flüssigzusatzmittel eine deutlich bessere Option gegenüber Melasse und Wasser darstellt. In dieser Studie erfolgte das Mischen des Hafers mit den Flüssigzusatzmitteln direkt vor der Verwendung (Füttern in der Praxis). Aussagen über mögliche, zeitlich bedingte Lagerungseinflüsse des Gemisches (Schimmelbildung, Ranzigkeit) können nicht getroffen werden.

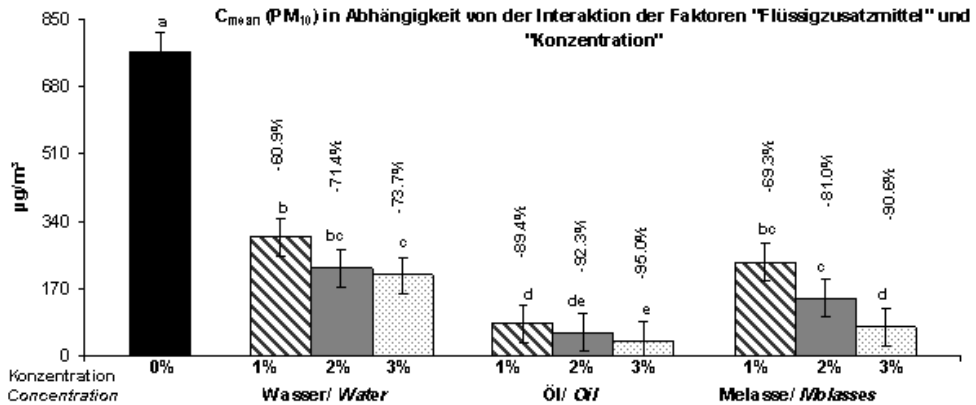


Abb. 3: C_{mean} (±SE) (PM₁₀) in Abhängigkeit von der Interaktion „Flüssigzusatzmittel“ und „Konzentration“ (n = 6 pro Konzentration und Flüssigzusatzmittel) sowie die Reduzierung [%] gegenüber der 0-Proben. a, b, c, d, e = Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander (P ≤ 0,05)

Fig. 3: C_{mean} (±SE) (PM₁₀) depending on the interaction between factors "additive" and "concentration" (n = 6 per additive and concentration) and the reduction [% - with respect to the 0-concentration). a, b, c, d, e = LSM with different letters are significantly different (P < 0.05)

Literatur

- Butera, M.; Smith, J. H.; Morrison, W. D.; Hacjer, R. R.; Kains, F. A.; Ogilvie, J. R. (1991): Concentration of respirable Dust and Bioaerosols and Identification of certain microbial Types in a Hog-growing Facility. *Can. J. anim. Sci.* 71, 271-277
- Clarke, A. F. (1987): Chronic pulmonary disease - a multifaceted disease complex in the horse. *Ir. Vet. J.* 41, 258-264
- Fleming, K.; Hessel, E. F.; Van den Weghe, H. F. A. (2008): Generation of airborne particles from different bedding materials used for horse keeping. *Journal of Equine Veterinary Science* 28, 408-418
- Gast, R. M.; Bundy, D. S. (1986): Control of feed dust by adding oils. *Transactions of the ASAE* 86, 4039
- Heber, A. J.; Martin, C. R. (1988): Effect of additives on aerodynamic segregation of dust from swine feed. *Transactions of the ASAE* 31, 558-563
- Hessel, E. F.; Garlipp, F.; Van den Weghe, H. F. A. (2009): Generation of airborne particles from horse feeds depending on type and processing. *Journal of Equine Veterinary Science* 29, 665-674
- Salyer, I. O.; Sun, S. M.; Schwendeman, J.L.; Wurstner, A.L. (1970): Foam Suppression of Respirable Coal Dust. Monsanto Research Corp, Final Report
- Welford, R. A.; Feddes, J. J. R.; Barber, E. M. (1992): Pig building dustiness as affected by canola oil in the feed. *Canadian Agricultural Engineering* 34, 365-373

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss einer neuentwickelten Technologie zur Partikelabscheidung bei Einstreumaterialien und Raufuttermitteln für Pferde

Experimental research relating to the influence of a new technology for particle separation of bedding materials and roughages for horses

FELIX GARLIPP, ENGEL F. HESSEL, HERMAN F. A. VAN DEN WEGHE

Department für Nutztierwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft, Universitätsstr. 7, 49377 Vechna

Schlüsselwörter: Staubpartikel, Einstreumaterialien, Raufuttermittel, Partikelabscheidung
Keywords: airborne particles, bedding materials, roughages, particle separation

Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, den Abscheidegrad von luftgetragenen Partikeln und Schimmelpilzsporen durch den Einsatz einer Technologie zur Partikelabscheidung unter Laborbedingungen zu analysieren. Zusätzlich wurde der Effekt einer achtwöchigen losen und gepressten Lagerung der zuvor behandelten Materialien untersucht. Durch den Abscheidvorgang konnte die Schwebstaubgenerierung ($PM_{2,0}$) bei Heu um 53,6 %, bei Heulage um 12,3 %, bei Spänen um 89,4 %, bei Weizenstroh um 83,9 %, bei Flachs um 60,5 % und bei Hanf um 72,3% reduziert werden. Die achtwöchige Lagerung der behandelten Materialien als Pressgut führte bei Heulage (+ 29,9 %), Weizenstroh (+ 104,0 %), Spänen (+ 40,4 %) und bei Hanf (+ 30,7 %) zu einem signifikanten Anstieg der Schwebstaubgenerierung ($PM_{1,0}$). Ein signifikanter Anstieg der Schwebstaubgenerierung ($PM_{1,0}$) infolge der Lagerung als lose Ware trat nur bei Weizenstroh (+ 44,2 %) auf.

Summary

Aim of this study was to analyze the reduction of airborne particles and moulds under standardized laboratory conditions through the use of a particle separation technology. In addition, the study looked at the effect of storage on the degree of airborne particle generation ($PM_{1,0}$) by measuring the amount of airborne particles released from the treated materials after they had been stored either loose (incoherent) or pressed for eight weeks. The particle separation resulted in a reduction in the airborne particle ($PM_{2,0}$) generation in all materials: hay 53.6 %, haylage 12.3 %, wood shavings 89.4 %, wheat straw 83.9 %, flax 60.5 % and hemp 72.3 %. The eight-week storage of the treated materials as compressed materials led to a significant increase in the airborne particle ($PM_{1,0}$) concentration in the haylage (+ 29.9 %), wheat straw (+ 104.0 %), wood shavings (+ 40.4 %) and hemp (+ 30.7 %). Storage of the incoherent materials caused a significant increase only in the wheat straw (+ 44.2 %).

1 Einleitung und Zielsetzung

Eine der Hauptursachen für respiratorische Erkrankungen beim Pferd stellen erhöhte Schwebstaubkonzentrationen in der Stallluft dar (SEEDORF und HARTUNG, 2002). Für die Generierung von luftgetragenen Partikeln gelten verschiedene Einstreumaterialien und Raufuttermittel als primäre Kontaminationsquellen im Pferdestall (BANHAZI et al., 2002). FLEMING et al. (2008) konnten beim Vergleich verschiedener Einstreumaterialien unter Laborbedingungen die signifikant niedrigste Schwebstaubgenerierung aus Strohpellets ($111,2 \pm 149,2 \text{ mg/m}^3$) im Vergleich zu Spänen ($140,9 \pm 141,9 \text{ mg/m}^3$) und Weizenstroh ($227,5 \pm 280,8 \text{ mg/m}^3$) analysieren (PM_{10}). Neben der Höhe der Gesamtschwebstaubkonzentration sind die einzelnen Partikelfraktionen entscheidend (CLEMETS und PIRIE, 2007). Vor allem Partikel der thorakalen (aerodynamischer Durchmesser $\leq 10 \text{ }\mu\text{m}$ [PM_{10}]) und alveolaren Fraktionen (aerodynamischer Durchmesser $< 5 \text{ }\mu\text{m}$ [PM_{5}]) können tief in den Respirationstrakt des Pferdes vordringen und durch die direkte Wirkung große Schäden verursachen (CARGILL, 2000). Je höher die Staubbelastung der Luft ist, umso größer muss die Abwehrleistung des Atmungsapparates sein. Luftgetragene Partikel und speziell auch Schimmelpilzsporen können ursächlich für eine Vielzahl von Erkrankungen des Atemtraktes sein. TANNER et al. (1998) konnten folgende Gehalte an Pilzsporen in der Pferdestallluft beim Vergleich verschiedener Einstreumaterialien nachweisen: Papier ($3782 \pm 2953 \text{ CFU/m}^3$), Sand ($4338 \pm 5789 \text{ CFU/m}^3$) und Weizenstroh ($5845 \pm 5113 \text{ CFU/m}^3$). In Bezug auf die Reduzierung luftgetragener Partikel in der Pferdehaltung muss dementsprechend primär die Behandlung der Hauptkontaminationsquellen von Schwebstaub im Vordergrund stehen, welche verschiedene Einstreumaterialien (Weizenstroh, Späne, Flachs, Hanf) und Raufuttermittel (Heu, Heulage) darstellen (SEEDORF und HARTUNG, 2002). HAAKE (1992) konnte einen verringerten Staubanteil in der Stallluft durch den Gebrauch von gereinigten Materialien nachweisen. Dementsprechend war es das Ziel dieser Studie, den Abscheidegrad von luftgetragenen Partikeln und Schimmelpilzsporen durch den Einsatz einer Technologie zur Behandlung von Einstreumaterialien und Raufuttermitteln unter Laborbedingungen zu analysieren. Zusätzlich wurde der Effekt einer achtwöchigen losen und gepressten Lagerung der zuvor behandelten Materialien untersucht.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsaufbau

In dieser Studie wurden folgende vier Einstreumaterialien und zwei Raufuttermittel in Bezug auf deren Schwebstaub- und Schimmelpilzgenerierung unter standardisierten Bedingungen untersucht.

- Weizenstroh (Länge 20–30 cm; geerntet August 2008; Quaderballen $90 \times 120 \text{ cm}$)
- Holzspäne (Länge 0,5–4 cm; 25 kg Verpackung; Allspan Barneveld – Niederlande)
- Flachs (Länge 1–2 cm; 21 kg Verpackung; LAVOR – Niederlande)
- Hanf (Länge 0,5–3,0 cm; 15 kg Verpackung; HempFlax – Niederlande)
- Heu (Länge 20–35 cm; geerntet Juni 2008; Quaderballen $90 \times 120 \text{ cm}$; 1. Schnitt)
- Heulage (Länge 25–35 cm; geerntet Juni 2008; Rundballen $120 \times 125 \text{ cm}$)

Technologie zur Partikelabscheidung

Alle unbehandelten Materialien wurden mit der gleichen Technologie der Firma Hurkyson (Postbus 98, NL-6865 ZH Doorwerth, Niederlande) bearbeitet. Diese ist in Abbildung 1 dargestellt.

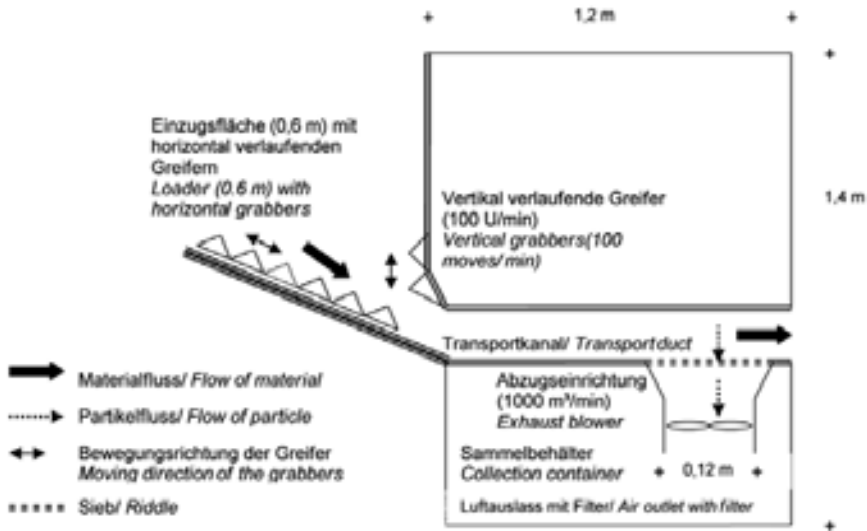


Abb. 1: Technologie zur Partikelabscheidung mit Sammelbehälter (1,2x1,4 × 1,0 m)

Fig. 1: Particle separation technology with collection container (1.2x1.4 × 1.0 m)

Die Technologie besteht aus einer Lade- und Einzugsfläche mit mehreren horizontal verlaufenden Greifern, welche sich kontinuierlich bewegen (100 Bew./Min.). Die Materialien werden aufgelockert, gleichmäßig auf der Einzugsfläche verteilt und in Richtung des Transportkanals fortbewegt. Vor dem Transportkanal befinden sich vertikal verlaufende Greifer, welche sich ruckartig von unten nach oben bewegen (100 Bew./Min.) und einen kontinuierlichen Materialfluss (ca. 2,5 kg/Min.) ins Innere der Maschine gewährleisten. Im Transportkanal befindet sich eine Abzugseinrichtung, welche mit einem konstanten Luftvolumenstrom (1000 m³/h), Partikel aus dem Material abscheidet. Diese werden in einem Sammelbehälter aufgefangen. Durch den kontinuierlichen Nachschub des Materials wird das behandelte Material in einen Behälter geschoben, von dem aus es verpackt oder direkt verfüttert bzw. eingestreut werden kann.

Für jeden Durchgang ($n = 3$) wurden 5 kg von jedem Material mit der Technologie behandelt und direkt analysiert. Die unbehandelten Materialien wurden als lose Ware (Heu, Stroh) bzw. original verpackt (Heulage, Späne, Flachs, Hanf) unter konstanten Bedingungen (Temperatur 18 °C, relative Luftfeuchte 45 %) über den gesamten Versuchszeitraum gelagert.

Lagerung der behandelten Materialien

Es wurden von jedem behandelten Material 5 kg als Pressgut und 5 kg als lose Ware über acht Wochen unter konstanten Bedingungen eingelagert.

- Pressgut:
Das Pressen fand mit einer Stempelpresse (8 bar) statt. Alle Materialien wurden in ein Netz mit einer Maschenweite von $1,5 \times 1,5$ mm gepresst. Heulage, Hanf, Flachs und Späne wurden, entsprechend ihrer ursprünglichen Verpackung, zusätzlich mit einer Silagefolie luftdicht umwickelt.
- lose Ware:
Hierfür wurden 5 kg, in jeweils zwei Abpackungen á 2,5 kg, jedes behandelten Materials in einem 30 l HD-PE Sack unter konstanten Bedingungen gelagert. Die Materialien wurden aufgelockert in den Sack getan, welcher anschließend offen stehen blieb, mit Ausnahme der Heulage, welche nach der Behandlung luftdicht in dem Sack verschlossen wurde.

Mess- und Analysetechnik

Mithilfe das gravimetrisch messende Online-Schwebstaubmessgerät TEOM 1400a der Firma Rupprecht und Patashnick Company (USA) wurde von jedem Material die Schwebstaubgenerierung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] über 90 Minuten analysiert (pro Minute ein Messwert). Dafür wurden zwei Kammern entwickelt, welche in Abbildung 2 grafisch dargestellt sind.

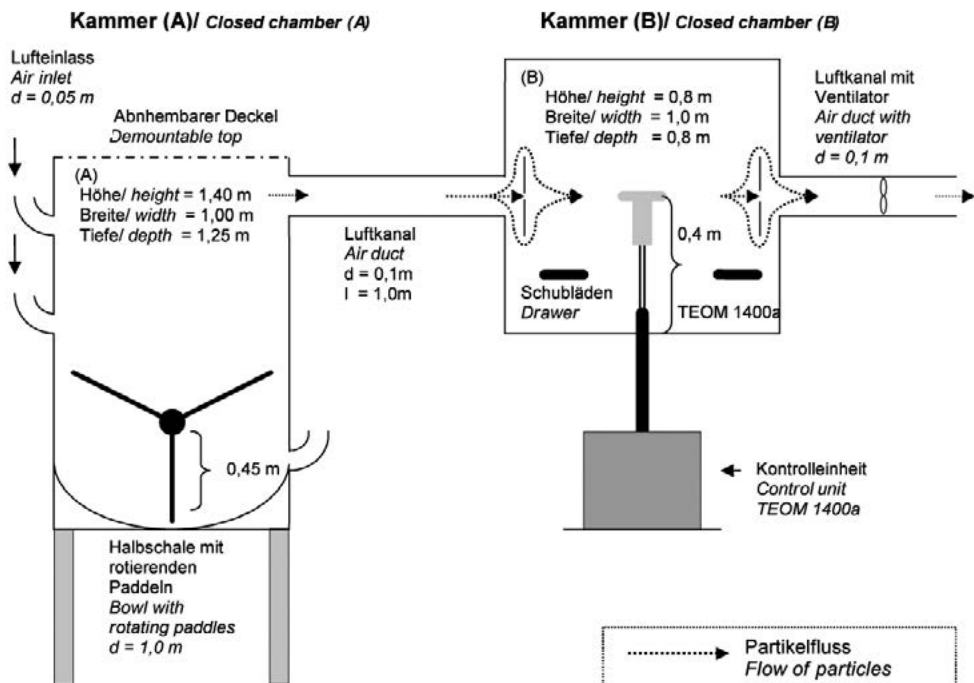


Abb. 2: Aufbau Kammer (A) und (B) mit Schwebstaubmessgerät TEOM 1400a
 Fig. 2: Outline of the closed chambers (A) and (B) with particle analyzer TEOM 1400a

In Kammer (A) wurde eine Wanne ($d = 1,0 \text{ m}$) mit drei rotierenden Paddeln ($1,0 \times 0,45 \text{ m}$) integriert. Die Paddeloberfläche bestand aus einem Drahtnetz. Die Kammer beinhaltete drei Öffnungen ($d = 0,05 \text{ m}$) zum Ansaugen von Frischluft. Die Messeinheit des TEOM 1400a wurde in einer zweiten separaten (B) Kammer untergebracht. Zur Schwebstaubbildung wurden vier verschiedene Messköpfe verwendet.

- $\text{PM}_{20} \leq 20 \text{ }\mu\text{m}$ (Gesamtschwebstaub)
- $\text{PM}_{10} < 10 \text{ }\mu\text{m}$ (thoraxgängiger Schwebstaubanteil)
- $\text{PM}_{2,5} < 2,5 \text{ }\mu\text{m}$ (alveolargängiger Schwebstaubanteil)
- $\text{PM}_{1,0} < 1,0 \text{ }\mu\text{m}$ (alveolargängiger Schwebstaubanteil)

Der jeweilige Messkopf wurde in einer Höhe von $0,4 \text{ m}$ in der Kammer installiert. Beide Kammern waren durch ein Rohr (Länge $1,0 \text{ m}$; $d = 0,1 \text{ m}$) verbunden. Ein weiteres Rohr (Länge $0,6 \text{ m}$; $d = 0,1 \text{ m}$), welches aus der Kammer (B) hinaus führte, beinhaltete einen Ventilator, welcher mit einer konstanten Geschwindigkeit, Luft aus Kammer (A) in Kammer (B) transportierte und von dort in einen separaten Raum abführte. Die Luftgeschwindigkeit (v) in dem Rohr zwischen beiden Kammern lag konstant bei $3,6 \text{ m/s}$. Für die Schimmelpilzbestimmungen wurden in Kammer (B) zwei, manuell zu betätigende, Schubläden ($0,1 \times 0,4 \text{ m}$) installiert, wodurch die Petrischalen in das Innere der Kammer gebracht wurden. Für die Analyse des Pilzsporengehaltes wurden Petrischalen ($d = 9,0 \text{ cm}$) mit einem speziellen Agar (Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar FIL-IDF) angefertigt.

2.2 Versuchsdurchführung

Vor jeder Schwebstaubmessung wurden $1,5 \text{ kg}$ von jedem Material abgewogen und der Kammer (A) zugeführt. Die Messungen begannen mit dem Starten und endeten mit dem Abschalten des Motors für die Paddel (14 U/Min) über 90 Minuten . Nach den Schwebstaubanalysen (PM_{20} , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, $\text{PM}_{1,0}$) der unbehandelten und behandelten Materialien erfolgten die Messungen der Schwebstaubgenerierung der Materialien, welche 8 Woche als Pressgut bzw. lose Ware gelagert wurden. Hierbei wurde ausschließlich die Schwebstaubgenerierung der Partikelfraktion PM_{10} analysiert ($n = 3$).

Die Analysen der Schimmelpilzsporen wurden während der Schwebstaubmessung der Partikelfraktion PM_{10} durchgeführt. Aufgrund der Kenntnis, dass das Maximum der Schwebstaubgenerierung ca. 15 Minuten nach Beginn der Messung erreicht ist, wurden zu diesem Zeitpunkt zwei Petrischalen (10 und $20 \text{ Sekundenproben}$) zur Bestimmung des Pilzsporengehaltes [CFU/m^3] ins Innere der Kammer (B) geschoben. Die Petrischalen wurden unmittelbar vor dem Einschieben in die Kammer geöffnet und danach sofort wieder luftdicht verschlossen und bei $4 \text{ }^\circ\text{C}$ gelagert. Das Einschieben erfolgte über in die Kammer eingelassene Schubläden.

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe des Programms SAS 9.1 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Mit der Prozedur GLM wurden Varianzanalysen durchgeführt, wodurch der Einfluss der fixen Faktoren „Material“ und „Behandlung“ sowie die Interaktion zwischen beiden auf die mittlere maximale 90-Minuten Schwebstaubkonzentration (C_{max}) und auf den mittleren Pilzsporengehalt geschätzt wurde. Mithilfe des t-Tests wurden signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$) ermittelt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Schwebstaubanalysen nach Partikelabscheidung

Die Analysen der mittleren maximalen 90-Minuten (C_{max}) Schwebstaubkonzentration ergaben insgesamt (im Mittel aller Materialien) einen hoch signifikanten Effekt der Partikelabscheidung. In Partikelfraktion PM_{20} führte die Abscheidung der Partikel zu einer signifikanten ($P < 0.0001$) Abnahme der C_{max} um 72,1 %, in Partikelfraktion PM_{10} ($P < 0.0001$) um 64,8 %, in Partikelfraktion $PM_{2,5}$ ($P < 0.0001$) um 73,1 %) und in Partikelfraktion $PM_{1,0}$ ($P < 0.0001$) um 57,7 %.

Bei beiden Raufuttermitteln konnte die höchste Schwebstaubreduzierung in der Partikelfraktion $PM_{1,0}$ erfasst werden (Tab. 1). In Partikelfraktion PM_{20} wies Heulage behandelt mit einer Schwebstaubreduzierung von 12,3 % keinen signifikanten ($P = 0.0524$) Unterschied gegenüber Heulage unbehandelt auf. Ein Grund dafür, könnte der hohe Feuchtegehalt der Heulage von 25 % darstellen. Durch diesen werden vor allem Grobstaubpartikel ($\leq 20 \mu m$) gebunden, welche durch eine trockene Behandlung nur geringfügig entfernt werden können (VANDEPUT et al., 1997). Der Behandlungseffekt der Partikelfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ fiel für Heu deutlich geringer aus als für Heulage.

Tab. 1: C_{max} [mg/m^3] und Standardfehler (SE) der unbehandelten (U) und behandelten (B) Materialien sowie die Schwebstaubreduzierung (r [%]) infolge der Behandlung.

Tab. 1: C_{max} [mg/m^3] and standard error (SE) for untreated (U) and treated (B) materials and the reduction of airborne particle generation by treatment in % (r) subdivided according to particle size fraction

Material		PM_{20}		PM_{10}		$PM_{2,5}$		$PM_{1,0}$	
		C_{max}	SE	C_{max}	SE	C_{max}	SE	C_{max}	SE
Heu Hay	U	49,17 ^a	7,37	22,99 ^a	2,56	2,52 ^a	0,72	3,10 ^a	0,92
	B	22,80 ^b	7,37	11,88 ^b	2,56	1,35 ^b	0,72	1,03 ^b	0,92
	r	-53,6		-48,3		-46,2		-67,0	
Heulage Haylage	U	28,57 ^a	7,37	10,74 ^a	2,56	1,32 ^a	0,72	1,02 ^a	0,92
	B	25,05 ^a	7,37	3,77 ^b	2,56	0,58 ^b	0,72	0,13 ^b	0,92
	r	-12,3		-64,9		-56,5		-87,4	
Weizenstroh Wheat straw	U	143,08 ^a	7,37	62,79 ^a	2,56	3,95 ^a	0,72	1,43 ^a	0,92
	B	22,97 ^b	7,37	7,53 ^b	2,56	0,90 ^b	0,72	1,28 ^a	0,92
	r	-83,9		-88,0		-77,1		-11,0	
Holzspäne Wood shavings	U	141,68 ^a	7,37	35,64 ^a	2,56	9,75 ^a	0,72	0,56 ^a	0,92
	B	15,04 ^b	7,37	8,13 ^b	2,56	0,97 ^b	0,72	0,21 ^b	0,92
	r	-89,4		-77,2		-90,1		-61,5	
Flachs Flax shives	U	135,12 ^a	7,37	81,06 ^a	2,56	21,08 ^a	0,72	20,14 ^a	0,92
	B	53,31 ^b	7,37	40,11 ^b	2,56	5,22 ^b	0,72	6,11 ^b	0,92
	r	-60,5		-50,5		-75,2		-69,6	
Hanf Hemp shives	U	63,67 ^a	7,37	48,30 ^a	2,56	9,70 ^a	0,72	8,84 ^a	0,92
	B	17,64 ^b	7,37	20,61 ^b	2,56	3,95 ^b	0,72	6,07 ^a	0,92
	r	-72,3		-57,3		-59,3		-31,3	

a, b = C_{max} innerhalb einer Fraktion und eines Materials mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P < 0.05$).

a, b = C_{max} within each particle fraction and material with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

Bei den Einstreumaterialien konnte die größte Partikelabscheidung von 89,4 % bei Spänen (Tab. 1) analysiert werden (PM_{20}), welcher für Flachs deutlich geringer ausfiel. Ein möglicher Grund für den geringeren Minderungseffekt von Flachs könnte sein, dass dieser im Zuge der Behandlung, resultierend aus Bruch und Abrieb, vermehrt neue Kleinstpartikel bildet. Dies könnte z. B. durch das mechanische Einwirken der Greifer auf der Einzugsfläche der Maschine erfolgen. Speziell die Behandlung von Spänen führte zu einer signifikanten Schwebstaubreduzierung ($P < 0.0001$) von 90,1 % in der Partikelfraktion $PM_{2,5}$ und 61,5 % in der Partikelfraktion $PM_{1,0}$. Nur in der Partikelfraktion $PM_{1,0}$ wiesen Weizenstroh ($P = 0.8456$) und Hanf behandelt ($P = 0.2268$) keinen signifikanten Unterschied zu den jeweils unbehandelten Materialien auf. In den Partikelfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ konnte bei allen Materialien eine signifikante Minderung durch die Behandlung von über 50,0 % analysiert werden (Tab. 1).

Schwebstaubanalysen nach Lagerung

Die achtwöchige Lagerung der behandelten, gepressten Materialien führte im Mittel zu einer signifikanten ($P < 0.0001$) Zunahme der C_{max} um 34,7 % und das Lagern der behandelten, losen Materialien zu einer signifikanten ($P = 0.0138$) Zunahme um 14,1 % gegenüber der C_{max} der Materialien, die direkt nach Behandlung gemessen wurden. Der Vergleich beider Lagerungsmethoden zeigte, dass die gepresste Lagerung gegenüber der losen Lagerung zu signifikant ($P < 0.0001$) höheren Schwebstaubgenerierungen um 15,3 % im Mittel aller Materialien führte. Dieser Effekt könnte durch das Brechen der Materialien und der damit verbundenen Bildung von Kleinstpartikeln während des Pressvorganges und der Lagerung erklärt werden. Abbildung 3 stellt den Effekt der Lagerung für alle Materialien grafisch dar.

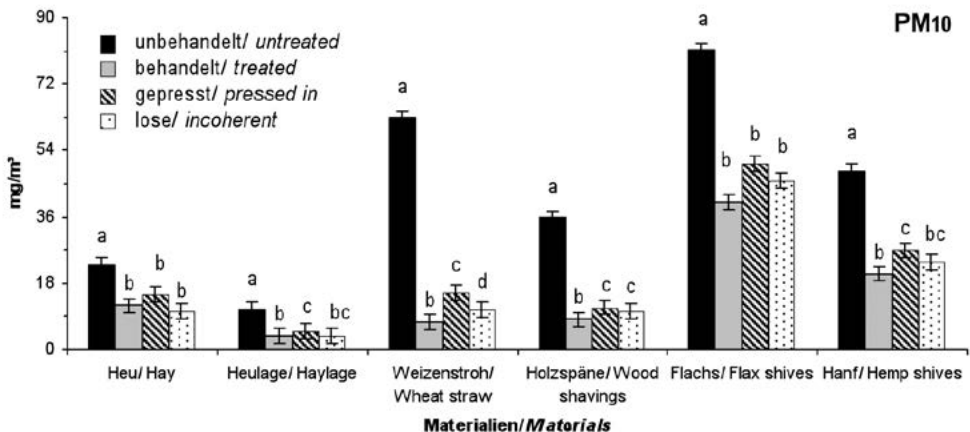


Abb. 3: C_{max} und Standardfehler der Partikelfraktion PM_{10} aller Materialien (unbehandelt, behandelt, gepresst gelagert, lose gelagert). a, b, c, d = Bearbeitungsweisen mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb eines Materials unterscheiden sich signifikant voneinander ($P \leq 0,05$)

Fig. 3: C_{max} (PM_{10}) and standard errors of all untreated, treated, storage pressed in and storage incoherent materials. a,b,c,d = different letters within a material means the values differ significantly ($P < 0.05$)

Analysen des Pilzsporengehaltes

Durch das Behandeln der Materialien konnte der Pilzsporengehalt (10 Sek.) nur bei Spänen (von 586,7 auf 44,3 CFU/m³; 92,4 %), bei Weizenstroh (von 383,3 auf 46,0 CFU/m³; 88,0 %) und bei Heu (von 61,0 auf 8,7 CFU/m³; 85,8 %) signifikant reduziert werden. Bei der 20-Sekunden-Probe wiesen - wie auch bei der 10-Sekunden-Probe - nur Späne, Weizenstroh und Heu behandelt jeweils signifikant niedrigere Pilzsporengehalte gegenüber den unbehandelten Materialien auf, wobei der größte Effekt bei Spänen (87,2 %) und Stroh (81,3 %) auftrat.

Schlussfolgernd zeigen die Ergebnisse, dass die Technologie zur Partikelabscheidung die Schwebstaubgenerierung, ausgehend von Raufuttermitteln und Einstreumaterialien um ein Vielfaches reduziert. Durch die Lagerung der behandelten Materialien steigt die Schwebstaubgenerierung an, jedoch bei keinem der gelagerten Materialien erneut auf das Niveau der unbehandelten Materialien. Die Freisetzung von Schimmelpilzsporen konnte durch die Behandlung ebenfalls deutlich reduziert werden, wobei hohe material-spezifische Unterschiede auftreten.

Literatur

- Banhazi, T.; Cargill, C.; Marr, G.; Kefford, A.; Moore, K.; Koch, S.; Payne, H.; Nicholls, N. (2002): Relating airborne pollution to housing and management factors. Final Report to the Pig Research and Development Corporation, Canberra, Australia
- Cargill, C. (2000): Controlling and reducing airborne dust in horse stables and transporters. University of Adelaide, Rural Industries Research & Development Corporation, Australia
- Clements, J.; Pirie, R. (2007): Respirable dust concentrations in equine stables. Part 1: Validation of equipment and effect of various management systems. *Equine Vet J* 39, 256-262
- Fleming, K.; Hessel, E. F.; Van den Weghe, H. F. A. (2008): Generation of airborne particles from different bedding materials used for horse keeping. *Journal of Equine Veterinary Science* 28, 408-418
- Haake, B. (1992): Felduntersuchungen zum Einfluss von Einstreu und Futterart auf die Luftqualität in freigelüfteten Boxen in einem Reitstall. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- Seedorf, J.; Hartung, J. (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung, KTBL-Schrift Nr. 393, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 99-102
- Tanner, M.; Swinker, A. M.; Beard, M. L.; Cosma, G. N.; Traub-Dargatz, J. L.; Martinez, A. B.; Olenchock, S. A. (1998): Effect of phone book paper versus sawdust and straw bedding on the presence of airborne gram-negative bacteria, fungi and endotoxin in horse stalls. *Journal of Equine Veterinary Science* 18, 457-461
- Vandenput, S.; Istasse, L.; Nicks, B.; Lekeux, P. (1997): Airborne dust and aeroallergen concentrations in different sources of feed and bedding for horses. *Vet. Quart.* 19, 154-158

The ICT-AGRI Meta Knowledge Base: an Internet-based Instrument to Assist Coordination of Research in Europe

Die ICT-AGRI Meta Knowledge Base: ein internetbasiertes Instrument zur Forschungskoordination in Europa

RENATE L. DÖRFLER¹, IVER THYSEN², JÜRGEN VANGHEYTE³, KOEN C. MERTENS³,
MARTIN HOLPP⁴, MARKUS LÖTSCHER⁵

¹ Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) Deichmanns Aue 29, 53179 Bonn, Germany

² Ministry of Science, Technology and Innovation, Bredgade 43, 1260 Copenhagen, Denmark

³ Institute for Agricultural and Fisheries Research (ILVO), van Gansberghelaan 115, 9820 Merelbeke, Belgium

⁴ Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Tänikon, 8356 Ettenhausen, Switzerland

⁵ Federal Office for Agriculture FOAG, Mattenhofstrasse 5, 3003 Berne, Switzerland

Keywords: ICT, automation, robotics, European Research Area Network, database

Schlüsselwörter: ICT, Automation, Robotics, European Research Area Network, Datenbank

Summary

The ICT-AGRI Meta Knowledge Base (MKB) was developed to coordinate European research within ICT and robotics in agriculture and related environmental issues effectively. This database stimulates transnational collaboration and networking in Europe through the publication of user profiles and research. Furthermore, a search engine allows to find research partners for ICT-AGRI calls and other initiatives. Equipped with a questionnaire the MKB is a platform that integrates stakeholders in development processes, such as the development of the ICT-AGRI strategic research agenda.

Zusammenfassung

Die ICT-AGRI Meta Knowledge Base (MKB) wurde entwickelt, um die europäische Forschung in ICT und Robotics in der Landwirtschaft und damit zusammenhängenden Umweltfragen wirksam zu koordinieren. Diese Datenbank fördert die transnationale Zusammenarbeit und Vernetzung in Europa durch die Publikation von Benutzerprofilen und Forschungsarbeiten. Weiterhin erlaubt eine Suchmaschine Forschungspartner für ICT-AGRI Calls und andere Initiativen zu finden. Ausgestattet mit einem Fragebogen ist die MKB eine Plattform, die Stakeholder in Entwicklungsprozesse, wie die Entwicklung der strategischen Forschungsagenda von ICT-AGRI, einbindet.

1 Introduction

Food security and safety, scarcity of resources, environmental pollution and climate change are challenges agriculture will be faced with in the future. The use of information and communication technology (ICT), automation and robotics will help farmers to meet these challenges. Recently, innovative concepts, such as variable rate application, farm management and information systems or wireless animal monitoring, have occurred to enhance productivity in agriculture, while minimizing environmental impact. Modern information and communication techniques have the potential to contribute to a competitive and environmentally friendly agriculture.

The intensification of research on ICT and automation, and the development of innovative technologies are decisive to address future challenges and to strengthen competitiveness of European farmers on the world market. Since human and financial resources for research and innovation are fragmented, the European Commission initiated the European Research Area Network (ERA-NET) within the Framework Programmes for Research (European Commission, 2011). The ERA-NET ICT-AGRI fosters coordination of European research on ICT, automation and robotics in agriculture and related environmental issues.

The coordinating activities involve the mapping of relevant knowledge, launching of calls to fund innovative transnational research projects and developing a common research strategy based on shared priorities. All these diverse tasks require a central instrument to organize and manage them. Therefore, it was the objective of the ERA-NET ICT-AGRI to develop an effective tool for facilitating coordination of research



Fig. 1: Countries participating in the ERA-NET ICT-AGRI

Abb. 1: Am ERA-NET ICT-AGRI beteiligte Länder

in Europe, and initiating and maintaining international collaborations and networks within ICT and robotics in agriculture.

2 Conceptual model

Following the approach of European Commission (2009) the ICT-AGRI Meta Knowledge Base (MKB, <http://db-ictagri.eu>) was created to assist the development of highly innovative and efficient ICT solutions through improved coordination of research in Europe. It is also part of the conceptual model to ease the exchange of knowledge from various sources and to promote networks within ICT, automation and robotics in agriculture. The MKB – a publicly accessible internet-based instrument with an underlying database – can be expanded as needed and is open to all researchers and developers (VANGHEYTE et al., 2010). Three main functions were elaborated up to now:

1. Presentation of user profiles and research projects
2. Search for and retrieval of ICT-AGRI related information
3. User participation in development processes and discussion forum

Table 1 shows the conceptual model of the ICT-AGRI Meta Knowledge Base referring to functions, website areas and technical requirements. The presentation platform was designed to help database users to enter their profiles and research in an input mask. Data entry by users and mapping of knowledge is a prerequisite for the provision of data. The information platform allows users to search for and to retrieve information with a search engine. Finally, the participation area and discussion forum rely on online questionnaires and debate masks for facilitating the involvement of stakeholders in the development of future research strategies and innovative technologies.

Tab. 1: Conceptual model of the ICT-AGRI Meta Knowledge Base (MKB)

Tab. 1: Konzeptionelles Modell der ICT-AGRI Meta Knowledge Base (MKB)

Function	Website area	Technical tool
Presentation of user data	Presentation platform	Input masks
Data search and retrieval	Information platform	Search engine
User participation and communication	Participation area & discussion forum	Online questionnaire & debate masks

Information transfer and networking will be encouraged through the web presence of MKB users, the search device and the participation of stakeholders in development processes. The concept of the MKB further includes the provision of relevant information and high user-friendliness related to data input, data search and data retrieval to strengthen the European Research Area.

3 Results and Discussion

3.1 Facilities for entering data

The presentation platform of the MKB allows to register user profiles (Fig. 2) whereby a distinction is made between personal profiles (contact information) and affiliation profiles (institutes, organisations, companies etc.). The affiliation profiles permit to enter four levels of the organisational structure (e.g. university, faculty, department, research group). ICT-AGRI related priorities, facilities and expertise can be assigned to each type of profile.

Moreover, the MKB incorporates an input mask for finalized and ongoing research projects and products, such as automated agricultural devices, robots, online services and patents. The categories to be entered are title, abstract, text, acknowledgement and profile of organisation. Links to online references can be added in order to provide more detailed information. All input of data into the MKB requires registration.

ICT-AGRI era-net META KNOWLEDGE BASE

Coordination of ICT and Robotics in Agriculture and Related Environmental Issues

HOME PROFILES RESEARCH SEARCH FORUM

Profile: Organisation, address and priorities

There are two kinds of profiles, **personal profile** and **affiliation profiles**. This page lets you add and edit information about organisation, address and priorities in the profile. After saving, you can add and edit extra information about facilities, expertise and links to supplementary online material. Please use **English language** only.

Help

Save profile Add extra info Keywords Unpublish

TRANSFER TO PROFILE OWNER

Personal profile

Organisation level 1	Federal Agency of Agriculture and Food (BLE)
Organisation level 2	Project Group 515, International Research Affairs
Organisation level 3	
Organisation level 4	
Type of organisation	Other
Contact person	Renate Doerfler(renate.doerfler@ble.de)
Internet	www.ble.de
Address	Deichmanns Aue 29
ZIP	53179
City	Bonn
Country	Germany
Phone	+49 228 68453254
Mobile	
Priorities (360 char)	Development of a strategic transnational research agenda and project coordination in ICT-AGRI

Save profile


WEBMASTER

Fig. 2: Input mask of the ICT-AGRI Meta Knowledge Base to present user profiles
 Abb. 2: Eingabemaske der ICT-AGRI Meta Knowledge Base zur Präsentation von Benutzerprofilen

Both the input masks for profiles and research postings enable users to present themselves and their research to the R&D community. The availability of contact data and the publication of research projects encourages the exchange of knowledge and the initiation and maintenance of transnational R&D consortia within ICT, automation and robotics in agriculture. The successfulness of knowledge exchange and communication is largely based on the number of database users. A high usability of database interfaces is vital to ensure trouble-free operation of the database and to sustain the quality of the facility.

3.2 Facilities for data search

Information about ICT and automation in agriculture can be retrieved by using the search function of the MKB which provides search masks for profiles and research postings. While the search for persons (individual profiles) or organizations (affiliation profiles) considers type of organisation and country, the search for research postings allows to select for type of research, product and country (Fig. 3). In addition, the search for postings is supplemented by keywords.

ICT-AGRI era-net **META KNOWLEDGE BASE** 

Coordination of ICT and Robotics in Agriculture and Related Environmental Issues

LOGIN
 Email
 Password
 Forgot?

The Meta Knowledge Base can be searched without login, while login is required for input of data. Registration as a user is free and open for all.

USER REGISTRATION
SRA CONSULTATION
CONTACT

BE Jürgen Vangeyte
 Koen Mertens
 Stephanie Vanweyenbergh

CH Martin Holpp
 Markus Loetscher

DE Till Schneider
 Renate Doerfler
 Elke Saggau

DK Per Mogensen
 Iver Thysen

ES Luisa Lopez

FI Suii Ryyänen

FR Dominique DIDELOT

GR Xenophon TSILIBARIS

IE Raymond Kelly

IL Victor Alchanatis

IT Alberto Masci

LV Agris Nikitenko

MT Alexandra Camilleri

NL Jack Verhoosel

TR Fatma SARGU
 MELTEM SOYDAN KARABACAK

or Iver Thysen
 Jürgen Vangeyte
 Koen Mertens

HOME **PROFILES** **RESEARCH** **SEARCH** **FORUM**

Research postings

Postings are descriptions of items of particular interest for ICT, automation and robotics in agriculture and agri-environment provided by the users of this website. Postings may be about research results, ongoing research, automated machines and equipment, robots, software, online services, standards, etc. Each posting includes a title, an abstract and a text, and links to online content of any kind elsewhere. Postings are classified by keywords for search.

ICT-AGRI funded projects

Search by category and country:

<input checked="" type="checkbox"/> Any research (109)	<input checked="" type="checkbox"/> Any country (141)
<input type="checkbox"/> Concluded (32)	<input type="checkbox"/> Belgium (88)
<input type="checkbox"/> Ongoing (82)	<input type="checkbox"/> Brazil (3)
<input checked="" type="checkbox"/> Any product (81)	<input type="checkbox"/> Canada (1)
<input type="checkbox"/> Machine (21)	<input type="checkbox"/> Denmark (18)
<input type="checkbox"/> Robot (16)	<input type="checkbox"/> Finland (1)
<input type="checkbox"/> Software (42)	<input type="checkbox"/> France (14)
<input type="checkbox"/> Online service (14)	<input type="checkbox"/> Germany (13)
<input type="checkbox"/> Standard (8)	<input type="checkbox"/> Greece (1)
<input type="checkbox"/> Patent (4)	<input type="checkbox"/> Iran (3)
<input type="checkbox"/> Machine Learning (5)	<input type="checkbox"/> Israel (4)
	<input type="checkbox"/> Italy (10)
	<input type="checkbox"/> Japan (1)
	<input type="checkbox"/> Latvia (4)
	<input type="checkbox"/> Netherlands (1)
	<input type="checkbox"/> Romania (2)
	<input type="checkbox"/> Singapore (1)
	<input type="checkbox"/> Spain (10)
	<input type="checkbox"/> Sweden (2)
	<input type="checkbox"/> Switzerland (13)
	<input type="checkbox"/> Turkey (7)
	<input type="checkbox"/> United Kingdom (2)
	<input type="checkbox"/> United States (2)

Fig. 3: Search mask of the ICT-AGRI Meta Knowledge Base to search for research projects
 Abb. 3: Suchmaske der ICT-AGRI Meta Knowledge Base zur Suche von Forschungsprojekten

The search engine is capable of identifying partners and their field of expertise for research projects in relation to ICT-AGRI calls. Hence, the ICT-AGRI Meta Knowledge Base is an important source of knowledge on ICT, automation and robotics in agriculture and an instrument for the successful realization of transnational research projects, research partnerships and R&D networks in Europe.

Rapid identification of existing knowledge is crucial to progress in research and development. A structured search not only requires a reliable search engine but also an adequate list of underlying keywords to get relevant information. Therefore, the maintenance of the search facility and the addition of keywords in a growing database are essential for an effective data search.

3.3 Facilities for development processes and discussion

The MKB is not only suitable to enter and to retrieve data but also to participate in processes, such as the development of the ICT-AGRI strategic research agenda. Login is required for contributing to the design of the research strategy via an internet-based survey and the debate on ICT and robotics in agriculture.

An online questionnaire assists the gathering of stakeholder opinions in which stakeholders are initially informed about the reasons for conducting the questionnaire and how to use it. Research and innovation needs in ICT, automation and robotics in agriculture and environment are identified via open-ended questions provided in text boxes and rating scales that differentiate between high, medium and low. The previous responses are visible to individual users and respondents can modify their foregoing entries, if they wish. A discussion forum allows to provide additional information. Emails are sent out to registered users of the MKB to inform and attract participants. After data collection all data are saved in the MKB and their analysis is automated.

It is important that the questions in the form are concise and placed in a logical sequence. Clear navigation from one page to another is also decisive to achieve a high response rate to the questionnaire and significant data for the development of the ICT-AGRI research agenda.

4 Conclusion

The ICT-AGRI Meta Knowledge Base (<http://db-ictagri.eu>) includes facilities for providing, searching and retrieving data, and forums for discussion. Currently 576 users are registered, and 421 profiles and 134 postings are available. Thus, the ICT-AGRI Meta Knowledge Base contributes to a joint pool of knowledge on ICT, automation and robotics in agriculture. It provides a platform to find partners and to be found for the establishment of international R&D consortia within ICT-AGRI Calls and other initiatives.

Moreover, the MKB is intended to foster the building and maintaining of transnational collaboration in research and development. Information transfer, communication and networking through the MKB substantially assist the coordinating activities of the ERA-NET ICT-AGRI. Therefore, the MKB is an effective internet-based instrument to coordinate research in ICT and automation in Europe and to pool fragmented human and financial resources.

The contents and facilities in the MKB are constantly being reviewed, updated and enlarged with the purpose of providing a valuable tool for the European research and innovation community within ICT and automation in agriculture.

References

- European Commission 2009: EU project upgrades flood research database. URL: http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP6_NEWS_COORD&ACTION=D&DOC=33&CAT=NEWS&QUERY=012f7e1ced9f:c85f:29ab94b7&RCN=30587 (accessed May 2011)
- European Commission 2011: ERA-NET Scheme. URL: <http://cordis.europa.eu/coordination/era-net.htm> (accessed May 2011)
- Vangeyte, J.; Van Weyenberg, S.; Hijazi, B.; Nuyttens, D.; Von Bobrutski, K.; Von Haselberg, C.; Holpp, M.; Doerfler, R.L.; Thysen, I. (2010): The ICT-AGRI Meta Knowledge Base: designing a web based tool for mapping and analysing research and development on ICT and robotics in agriculture and environmental related businesses. International Conference on Agricultural Engineering AgEng 2010, September 6–8, 2010, Clermont-Ferrand, France

Anschriften der Autoren

Address of authors

Ismail M. Abograra

Fachhochschule Hannover
Heisterbergallee 12
30453 Hannover

Miriam Abriel

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Prof.-Dürrwaechter-Platz 2
85586 Poing-Grub

Maher Alsaod

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

Christian Ammon

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Kerstin Barth

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche
Räume, Wald und Fischerei
Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32
23847 Westerau

Ulrike Bauer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Prof.-Dürrwaechter-Platz 2
85586 Poing-Grub

Jochen Baumeister

Hochschule Osnabrück
Fakultät Agrarwissenschaften und
Landschaftsarchitektur
Studiengang Landwirtschaft
Am Krümpel 31
49090 Osnabrück

Werner Berg

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Günter Beyersdorfer

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Außenstelle Bad Salzungen
Naumburger Str. 98
07743 Jena

Hamdi Bilgen

Ege University
Faculty of Agriculture
Department of Agricultural Machinery
35100 Bornova / İzmir, Turkey

Carlo Bisaglia

Cra-Ing, Laboratorio di
ricerca di Treviglio,
24047 Treviglio, Italia

Kristina von Bobrutzki

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Peter Boeker

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

Antje Böhlandt

Ludwig-Maximilians-Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-
und Umweltmedizin
Ziemssenstr. 1
80336 München

Anna-Lena Bohnenkamp

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Tierzucht und Tierhaltung
 Hermann-Rodewald-Straße 6
 24118 Kiel

Eberhard von Borell

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
 Institut für Agrar- und
 Ernährungswissenschaften
 Theodor-Lieser-Str. 11
 06120 Halle (Saale)

Monika Brandt

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Landwirtschaftliche
 Verfahrenstechnik
 Max-Eyth-Str. 6
 24118 Kiel

Lydia Bruckmaier

Land- und forstwirtschaftliche
 Berufsgenossenschaft
 Niederbayern/Oberpfalz und Schwaben
 Landshut

T. Brüning

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
 der Deutschen Gesetzlichen
 Unfallversicherung
 Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)
 Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
 44789 Bochum

Reiner Brunsch

Leibniz-Institut für Agrartechnik
 Potsdam-Bornim e. V.
 Max-Eyth-Allee 100
 14469 Potsdam

Melanie Buck

Bundesamt für Veterinärwesen
 Zentrum für tiergerechte Haltung:
 Wiederkäuer und Schweine
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Wolfgang Büscher

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
 Institut für Landtechnik
 Nußallee 5
 53115 Bonn

Bülent Cakmak

Ege University
 Faculty of Agriculture
 Department of Agricultural Machinery
 35100 Bornova/Izmir, Turkey

Gisela Dietrich-Gümperlein

Ludwig-Maximilians-Universität München
 Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-
 und Umweltmedizin
 Ziemssenstr. 1
 80336 München

Helmut Döhler

KTBL
 Bartningstr. 49
 64289 Darmstadt

Renate L. Dörfler

Bundesanstalt für Landwirtschaft und
 Ernährung (BLE)
 Deichmanns Aue 29
 53179 Bonn

Michael Eise

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
 (DLG)
 Max-Eyth-Weg 1
 64823 Groß-Umstadt

Lukas Emmenegger

Empa
 Überlandstrasse 129
 8600 Dübendorf, Schweiz

Alexandra Ettinger

Forschungsanstalt Agroscope
 Reckenholz-Tänikon ART
 Zentrum für tiergerechte Haltung:
 Wiederkäuer und Schweine
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Brigitte Eurich-Menden

KTBL
 Bartningstr. 49
 64289 Darmstadt

Mehmet Evrenosoglu

Ege University
 Faculty of Agriculture
 Department of Agricultural Machinery
 35100 Bornova/Izmir, Turkey

Merike Fiedler

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

A. Flagge

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung
Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
D-44789 Bochum

C. Fleischer

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung
Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
44789 Bochum

Ulrike Franze

Hochschule für Technik und Wirtschaft
Dresden
Fakultät Landbau/Landespflege
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden

Katharina Friedli

Bundesamt für Veterinärwesen
Zentrum für tiergerechte Haltung:
Wiederkäuer und Schweine
8356 Ettenhausen, Schweiz

Anika Friese

Freie Universität Berlin
Institut für Tier- und Umwelthygiene
Philippstraße 13
10115 Berlin

Susanne Gäckler

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
(DLG)
Max-Eyth-Weg 1
64823 Groß-Umstadt

Eva Gallmann

Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik
Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme
Garbenstraße 9
70593 Stuttgart

Felix Garlipp

Georg-August-Universität Göttingen
Department für Nutztierwissenschaften
Abteilung Verfahrenstechnik in der
Veredelungswirtschaft
Universitätsstr. 7
49377 Vechta

Sabine Gebhardt-Henrich

Zentrum für tiergerechte Haltung Geflügel
und Kaninchen (ZTHZ)
Außenstelle des Bundesamtes für
Veterinärwesen
Burgerweg 22
3052 Zollikofen, Schweiz

Steffi Geidel

Hochschule für Technik und Wirtschaft
Dresden
Fakultät Landbau/Landespflege
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden

Heiko Georg

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
Bundesforschungsinstitut für Ländliche
Räume, Wald und Fischerei
Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32
23847 Westerau

Katrin Gerlach

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität
Institut für Tierwissenschaften
Endenicher Allee 15
53115 Bonn

Ulrich Gernand

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Außenstelle Bad Salzungen
Naumburger Str. 98
07743 Jena

Manfred Gläser

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Florian Grandl
 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung
 Prof.-Dürrewaechter-Platz 2
 85586 Poing-Grub

Karel de Greef
 Wageningen UR Livestock Research,
 PO box 65,
 8200 AB Lelystad, The Netherlands

Anne Grothmann
 Forschungsanstalt Agroscope
 Reckenholz-Tänikon ART
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Lorenz Gygax
 Bundesamt für Veterinärwesen
 Zentrum für tiergerechte Haltung:
 Wiederkäuer und Schweine
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Istvan Gyöngy
 IceRobotics Ltd.
 Bankhead Steading
 Bankhead Road, South Queensferry
 Edinburgh EH30 9TF, Scotland UK

Torsten Haas
 Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
 Institut für Landtechnik
 Nußallee 5
 53115 Bonn

Angelika Haeussermann
 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Landwirtschaftliche
 Verfahrenstechnik
 Max-Eyth-Str. 6
 24118 Kiel

Jochen Hahne
 Johann Heinrich von Thünen Institut
 Bundesforschungsinstitut für Ländliche
 Räume, Wald und Fischerei
 Institut für Agrartechnologie und
 Biosystemtechnik
 Bundesallee 50
 38116 Braunschweig

Jörn Hamann
 Platanenring 10
 24119 Kronshagen

Eva Hampel
 WiDi-Kontor
 Seewartenstrasse 10
 20459 Hamburg

Jan Harms
 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung
 Prof.-Dürrewaechter-Platz 2
 85586 Poing-Grub

Eberhard Hartung
 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Landwirtschaftliche
 Verfahrenstechnik
 Max-Eyth-Str. 6
 24118 Kiel

Joerg Hartung
 Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
 Institut für Tierhygiene, Tierschutz
 und Nutztierethologie
 Bünteweg 17p
 30559 Hannover

Lutz Hasselmann
 Humboldt Universität zu Berlin
 Department für Nachhaltige Agrarsysteme
 FG Tierhaltungssysteme und
 Verfahrenstechnik
 Philippstraße 13, Haus 10
 10115 Berlin

Hilke Haverkamp
 Fachhochschule Hannover
 Heisterbergallee 12
 30453 Hannover

Juliane Heizinger
 Ludwig-Maximilians-Universität München
 Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-
 und Umweltmedizin
 Ziemssenstr. 1
 80336 München

Urban Hellmuth
 Fachhochschule Kiel
 Fachbereich Agrarwirtschaft Osterrönfeld
 Am Kamp 11
 24783 Osterrönfeld

Jessica Henseler-Paßmann
 Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
 Institut für Landtechnik
 Nußallee 5
 53115 Bonn

Daniel Herd
 Universität Hohenheim
 Institut für Agrartechnik
 Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme
 Garbenstraße 9
 70593 Stuttgart

Engel F. Hessel
 Georg-August-Universität Göttingen
 Department für Nutztierwissenschaften
 Abteilung Verfahrenstechnik in der
 Veredelungswirtschaft
 Universitätsstr. 7
 49377 Vechta

Ulrike Heyde
 Hochschule für Technik und Wirtschaft
 Dresden
 Fakultät Landbau/Landespflege
 Pillnitzer Platz 2
 01326 Dresden

Omar Hijazi
 Leibniz-Institut für Agrartechnik
 Potsdam-Bornim e. V.
 Abteilung Technik in der Tierhaltung
 Max-Eyth-Allee 100
 14469 Potsdam

Birgit Hinrichs
 Justus-Liebig-Universität
 Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
 Bismarckstraße 16
 35390 Gießen

Maren Höcker
 Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
 Institut für Landtechnik
 Nußallee 5
 53115 Bonn

Gundula Hoffmann
 Leibniz-Institut für Agrartechnik
 Potsdam-Bornim e. V.
 Abteilung Technik in der Tierhaltung
 Max-Eyth-Allee 100
 14469 Potsdam

Daniel Holling
 Big Dutchman Pig Equipment GmbH
 Auf der Lage 2
 49377 Calveslage

Martin Holpp
 Agroscope Reckenholz-Tänikon
 Research Station ART
 Tänikon
 8356 Ettenhausen, Switzerland

Bernhard Hörning
 Hochschule für nachhaltige Entwicklung
 Eberswalde (FH)
 Fachgebiet Ökologische Tierhaltung
 Friedrich-Ebert-Str. 28
 16225 Eberswalde

Wim Houwers
 GIQS, c/o Universität Bonn
 Katzenburgweg 7-9
 53115 Bonn

Steffen Hoy
 Justus-Liebig-Universität
 Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
 Bismarckstraße 16
 35390 Gießen

Christina Jais
 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung
 Prof.-Dürrwaechter-Platz 2
 85586 Poing-Grub

Thomas Jungbluth
 Universität Hohenheim
 Institut für Agrartechnik
 Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme
 Garbenstraße 9
 70593 Stuttgart

Wolfgang Junge
 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Tierzucht und Tierhaltung
 Hermann-Rodewald-Straße 6
 24118 Kiel

Otto Kaufmann

Humboldt Universität zu Berlin
 Department für Nachhaltige Agrarsysteme
 FG Tierhaltungssysteme und
 Verfahrenstechnik
 Philippstraße 13
 10115 Berlin

Margret Keck

Forschungsanstalt Agroscope
 Reckenholz-Tänikon ART
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Markus Keller

Forschungsanstalt Agroscope
 Reckenholz-Tänikon ART
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Andreas Kerßens

Big Dutchman International GmbH
 Auf der Lage 2
 49377 Calveslage

Alaa Kiwan

Leibniz-Institut für Agrartechnik
 Potsdam-Bornim e. V.
 Abteilung Technik in der Tierhaltung
 Max-Eyth-Allee 100
 14469 Potsdam

Kludia Klindtworth

Hochschule Osnabrück
 Fakultät Agrarwissenschaften und
 Landschaftsarchitektur
 Studiengang Landwirtschaft
 Am Krümpel 31
 49090 Osnabrück

Doris Klocke

Fachhochschule Hannover
 Heisterbergallee 12
 30453 Hannover

Karin Knappstein

Max-Rubner Institut
 Institut für Sicherheit und Qualität
 von Milch und Fisch
 Hermann-Weigmann-Str. 1
 24103 Kiel

Karl-Heinz Krause

Johann Heinrich von Thünen Institut
 Bundesforschungsinstitut für ländliche
 Räume, Wald und Fischerei
 Institut für Agrartechnologie und
 Biosystemtechnik,
 Bundesallee 50
 38116 Braunschweig

Joachim Krieter

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Tierzucht und Tierhaltung
 Hermann-Rodewald-Straße 6
 24118 Kiel

Volker Krömker

Fachhochschule Hannover
 Heisterbergallee 12
 30453 Hannover

Michael Kropsch

Lehr- und Forschungszentrum für
 Landwirtschaft
 Raumberg-Gumpenstein
 8952 Irdning, Österreich

Jānis Latvietis

Agraruniversität Lettland
 Lielā iela 2, Jelgava
 3001 Latvija, Lettland

Armins Laurs

Agraruniversität Lettland
 Institut für Landtechnik
 J. Caksts bulv. 5,
 3001 Jelgava, Lettland

Christoph Lechner

Amt der Tiroler Landesregierung
 6020 Innsbruck, Österreich

Bernd Lehmann

Hochschule Osnabrück
 Fakultät Agrarwissenschaften und
 Landschaftsarchitektur
 Studiengang Landwirtschaft
 Am Krümpel 31
 49090 Osnabrück

Stefan Linke

Johann Heinrich von Thünen Institut
Bundesforschungsinstitut für ländliche
Räume, Wald und Fischerei
Institut für Agrartechnologie und
Biosystemtechnik,
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Christiane Loebstin

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft
und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Institut für Tierproduktion
Wilhelm-Stahl-Allee 2
18196 Dummerstorf

Markus Lötscher

Federal Office for Agriculture FOAG
Mattenhofstrasse 5
3003 Berne, Switzerland

Christian Maack

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

Juliana Mačuhová

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Prof.-Dürrwaechter Platz 2
95586 Poing-Grub

Katrin Mahlkow-Nerge

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Abteilung Tierhaltung und Tierzucht
24327 Blekendorf

Andreas Melfsen

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Landwirtschaftliche
Verfahrenstechnik
Max-Eyth-Str. 6
24118 Kiel

Koen C. Mertens

Institute for Agricultural and Fisheries
Research (ILVO)
van Gansberghelaan 115
9820 Merelbeke, Belgium

Christian Meyer

Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp
LWK Schleswig-Holstein
Gutshof 1
24327 Blekendorf

Eckhard Meyer

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Fachbereich tierische Erzeugung
Am Park 3
04886 Köllitsch

Bettina Miekley

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Hermann-Rodewald-Straße 6
24118 Kiel

Samouil Moussa

Universität Damaskus
Landwirtschaftliche Fakultät
Damaskus, Syrien

Hans-Joachim Müller

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Karin Müller

Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp
LWK Schleswig-Holstein
Gutshof 1
24327 Blekendorf

Michael Mußlick

Thüringer Ministerium für Landwirtschaft,
Forsten, Umwelt und Naturschutz
Beethovenstraße 03
99096 Erfurt

Josef Neiber

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Vöttinger Str. 36
85354 Freising

Stefan Nesper

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Vöttinger Str. 36,
85354 Freising

Georg Neumaier

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Vöttinger Str. 36,
85354 Freising

Benedikt Niehaus

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

Heidrun Nitzer

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Agrar- und
Ernährungswissenschaften
Theodor-Lieser-Str. 11
06120 Halle (Saale)

Dennis Nowak

Ludwig-Maximilians-Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-
und Umweltmedizin
Ziemssenstr. 1
80336 München

Franz Nydegger

Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART
8356 Ettenhausen, Schweiz

Peter Oppermann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Prof.-Dürrwaechter Platz 2
95586 Poing-Grub

Dennis Otten

Georg-August-Universität Göttingen
Department für Nutztierwissenschaften
Abteilung Verfahrenstechnik in der
Veredelungswirtschaft
Universitätsstr. 7
49377 Vechta

Jan-Hendrik Paduch

Fachhochschule Hannover
Heisterbergallee 12
30453 Hannover

Christian Pahl

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Landwirtschaftliche
Verfahrenstechnik
Max-Eyth-Str. 6
24118 Kiel

Andreas Pelzer

Landwirtschaftskammer NRW
Landwirtschaftszentrum Haus Düsse
Ostinghausen
59505 Bad Sassendorf

Wilhelm Pflanz

Bildungs- und Wissenszentrum
LSZ Boxberg
97944 Boxberg-Windischbuch

Juris Priekulis

Agraruniversität Lettland
Institut für Landtechnik
J. Cakstes bulv. 5
3001 Jelgava, Lettland

Monika Raulf-Heimsoth

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung
Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
44789 Bochum

Siraj Raya

Humboldt Universität zu Berlin
Department für Nachhaltige Agrarsysteme
FG Tierhaltungssysteme und
Verfahrenstechnik
Philippstraße 13, Haus 10
10115 Berlin

Stefanie Reith

Justus-Liebig-Universität
Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
Bismarckstraße 16
35390 Gießen

Stefanie K. Retz

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche
Räume, Wald und Fischerei
Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32
23847 Westerau

Helmut Richter

Berufsgenossenschaftliches
Universitätsklinikum
Bergmannsheil GmbH
44789 Bochum

Uwe Richter

Universität Kassel
Fachgebiet Agrartechnik
Nordbahnhofstr. 1a
37213 Witzenhausen

Uwe Roesler

Freie Universität Berlin
Institut für Tier- und Umwelthygiene
Philippstraße 13
10115 Berlin

Tobias Rose

Fachhochschule Kiel
Fachbereich Agrarwirtschaft Osterrönfeld
Am Kamp 11
24783 Osterrönfeld

Sandra Rose-Meierhöfer

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Peter Rösman

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

Fabian Roß

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

Benjamin Rößler

Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik
Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme
Garbenstraße 9
70593 Stuttgart

Hans-Jürgen Rudovsky

Flöhaer Str. 02
04349 Leipzig

Jennifer Salau

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Hermann-Rodewald-Straße 6
24118 Kiel

Mohamed Samer

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Abteilung Technik in der Tierhaltung
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

I. Sander

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung
Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
44789 Bochum

Peter Sanftleben

LFA – Landesforschungsanstalt
für Landwirtschaft und Fischerei M-V
Institut für Tierproduktion
Wilhelm-Stahl-Allee 2
18196 Dummerstorf

Dirk Schäffer

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Agrar- und
Ernährungswissenschaften
Theodor-Lieser-Str. 11
06120 Halle (Saale)

Doris Schenk

Georg-August-Universität Göttingen
Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
(Pferdewissenschaften)
Albrecht-Thaer-Weg 3
37075 Göttingen

Matthias Schick

Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART
8356 Ettenhausen, Schweiz

Inga Schiefler

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

Rudolf Schierl

Ludwig-Maximilians-Universität München
 Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-
 und Umweltmedizin
 Ziemssenstr. 1
 80336 München

Günter Schläiß

DeLaval GmbH
 Wilhelm-Bergner Straße 5
 21503 Glinde

Sabine Schrade

Forschungsanstalt Agroscope
 Reckenholz-Tänikon ART
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Knut Schröter

Leibniz-Institut für Agrartechnik
 Potsdam-Bornim e. V.
 Abteilung Technik in der Tierhaltung
 Max-Eyth-Allee 100
 14469 Potsdam

Alexander Schroth

Hochschule für Technik und Wirtschaft
 Dresden
 Fakultät Landbau/Landespflege
 Pillnitzer Platz 2
 01326 Dresden

Jochen Schulz

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
 Institut für Tierhygiene, Tierschutz
 und Nutztierethologie
 Bünteweg 17p
 30559 Hannover

Anja Schwalm

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
 Bundesforschungsinstitut für Ländliche
 Räume, Wald und Fischerei
 Institut für Ökologischen Landbau
 Trenthorst 32
 23847 Westerau

Jochen Simon

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung
 Prof.-Dürrwaechter- Platz 2
 85586 Poing-Grub

Katharina Standke

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
 Institut für Landtechnik
 Nußallee 5
 53115 Bonn

Adrian Steiner

Vetsuisse-Fakultät Universität Bern
 Departement für klinische Veterinärmedizin
 Wiederkäuferklinik
 3001 Bern, Schweiz

Beat Steiner

Forschungsanstalt Agroscope
 Reckenholz-Tänikon ART
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Tobias Stekeler

Universität Hohenheim
 Institut für Agrartechnik
 Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme
 Garbenstraße 9
 70593 Stuttgart

Lisa Sternberg

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität
 Institut für Landtechnik
 Nußallee 5
 53115 Bonn

Ulrich Ströbel

Leibniz-Institut für Agrartechnik
 Potsdam-Bornim e. V.
 Abteilung Technik in der Tierhaltung
 Max-Eyth-Allee 100
 14469 Potsdam

Karl-Heinz Südekum

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität
 Institut für Tierwissenschaften
 Endenicher Allee 15
 53115 Bonn

O. Suhr

GEA Farm Technologies
 Siemensstraße 25-27
 59199 Bönen

Joachim Sültz

Praxis für Arbeitsmedizin, Innere Medizin,
 Lungen- und Bronchialkunde
 Von-Richthofen-Str. 15
 86356 Neusäß

Joachim Threm

Universität Hohenheim
 Institut für Agrartechnik
 Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme
 Garbenstraße 9
 70593 Stuttgart

Stefan Thurner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
 Vöttinger Str. 36,
 85354 Freising

Iver Thysen

Ministry of Science, Technology and
 Innovation
 Bredgade 43
 1260 Copenhagen, Denmark

Imke Traulsen

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Tierzucht und Tierhaltung
 Hermann-Rodewald-Straße 6
 24118 Kiel

Gerriet Trei

Hochschule für nachhaltige Entwicklung
 Eberswalde (FH)
 Fachgebiet Ökologische Tierhaltung
 Friedrich-Ebert-Str. 28
 16225 Eberswalde

Gracia Ude

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
 Bundesforschungsinstitut für Ländliche
 Räume, Wald und Fischerei
 Institut für Ökologischen Landbau
 Trenthorst 32
 23847 Westerau

Herman Van den Weghe

Georg-August-Universität Göttingen
 Department für Nutztierwissenschaften
 Abteilung Verfahrenstechnik in der
 Veredelungswirtschaft
 Universitätsstr. 7
 49377 Vechta

Jürgen Vangeyte

Institute for Agricultural and Fisheries
 Research (ILVO)
 van Gansberghelaan 115
 9820 Merelbeke, Belgium

Herman Vermeer

Wageningen UR Livestock Research,
 PO box 65,
 8200 AB Lelystad, The Netherlands

Martin Vogel

Hochschule Anhalt
 Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie
 und Landschaftsentwicklung
 Strenzfelder Allee 28
 06406 Bernburg

Martin Wähner

Hochschule Anhalt
 Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie
 und Landschaftsentwicklung
 Strenzfelder Allee 28
 06406 Bernburg

Astrid Weber

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Institut für Tierzucht und Tierhaltung
 Hermann-Rodewald-Straße 6
 24118 Kiel

Katharina Weber

Universität Hohenheim
 Institut für Agrartechnik
 Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme
 Garbenstraße 9
 70593 Stuttgart

Roland Weber

Forschungsanstalt Agroscope
 Reckenholz-Tänikon ART
 Zentrum für tiergerechte Haltung:
 Wiederkäuer und Schweine
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Beat Wechsler

Bundesamt für Veterinärwesen
 Zentrum für tiergerechte Haltung:
 Wiederkäuer und Schweine
 8356 Ettenhausen, Schweiz

Georg Wendl

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
 Vöttinger Str. 36,
 85354 Freising

Hanna Werhahn

Georg-August-Universität Göttingen
 Department für Nutztierwissenschaften
 Abteilung Verfahrenstechnik in der
 Veredelungswirtschaft
 Universitätsstr. 7
 49377 Vechta

Rudolf Wiedmann

Landesanstalt für Schweinezucht - LSZ
 Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg
 Seehöfer Straße 50,
 97944 Boxberg-Windischbuch

Tom Wirthgen

Fraunhofer Institut für Verkehrs- und
 Infrastruktursysteme (IVI)
 Zeunerstraße 38
 01069 Dresden

Harun Yalcin

Ege University
 Faculty of Agriculture
 Department of Agricultural Machinery
 35100 Bornova/İzmir, Turkey

Johannes Zahner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung
 Prof.-Dürrwaechter- Platz 2
 85586 Poing-Grub

Eva Zahradnik

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin
 der Deutschen Gesetzlichen
 Unfallversicherung
 Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)
 Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
 44789 Bochum

Kerstin Zeyer

Empa
 Überlandstrasse 129
 8600 Dübendorf, Schweiz

Claudia Zinke

Fachhochschule Hannover
 Heisterbergallee 12
 30453 Hannover

Stephan Zipser

Fraunhofer Institut für Verkehrs- und
 Infrastruktursysteme (IVI)
 Zeunerstraße 38
 01069 Dresden

Autorenindex

*Index of authors***A**

Abograra, I. M. 144
 Abriel, M. 69
 Alsaad, M. 372
 Ammon, C. 210

B

Barth, K. 395
 Bauer, U. 387, 439
 Baumeister, J. 286
 Berg, W. 210, 238
 Beyersdorfer, G. 189
 Bilgen, H. 364
 Bisaglia, C. 17
 Bobrutzki, K. von 210
 Boeker, P. 315
 Böhlandt, A. 329
 Bohnenkamp, A.-L. 55
 Borell, E. von 33
 Brandt, M. 111
 Bruckmaier, L. 322, 329
 Brüning, T. 322
 Brunsch, R. 119, 210, 238, 473
 Buck, M. 84
 Büscher, W. 204, 245, 251, 280, 315,
 358, 372

C

Cakmak, B. 364

D

Dietrich-Gümperlein, G. 329
 Döhler, H. 219
 Dörfler, R. 497

E

Eise, M. 439
 Emmenegger, L. 171
 Ettinger, A. 77
 Eurich-Menden, B. 219
 Evrenosoglu, M. 364

F

Fiedler, M. 210
 Flagge, A. 322
 Fleischer, C. 322
 Franze, U. 379
 Friedli, K. 84
 Friese, A. 179

G

Gäckler, S. 439
 Gallmann, E. 182
 Garlipp, F. 481, 489
 Gebhardt-Henrich, S. 99
 Geidel, S. 379
 Georg, H. 10, 226, 431
 Gerlach, K. 315
 Gernand, U. 189
 Gläser, M. 210
 Grandl, F. 439
 Greef, K. de 47
 Grothmann, A. 17
 Gygax, L. 77, 84
 Gyöngy, I. 395

H

Haas, T. 315
 Haeussermann, A. 111, 127, 135, 409
 Hahne, J. 164
 Hamann, J. 102
 Hampel, E. 62
 Harms, J. 387, 439
 Hartung, E. 111, 127, 135, 409
 Hartung, J. 179
 Hasselmann, L. 308
 Haverkamp, H. 144
 Heizinger, J. 329
 Hellmuth, U. 10
 Henseler-Paßmann, J. 204, 251
 Herd, D. 447, 454
 Hessel, E. F. 273, 460, 466, 481, 489
 Heyde, U. 379

- Hijazi, O. 238
 Hinrichs, B. 423
 Höcker, M. 358
 Hoffmann, G. 119, 473
 Holling, D. 423
 Holpp, M. 497
 Hörning, B. 99
 Houwers, W. 47
 Hoy, S. 415, 423
- J**
 Jais, C. 69, 91
 Jungbluth, T. 77, 182, 447, 454
 Junge, W. 387
- K**
 Kaufmann, O. 62, 308
 Keck, M. 171, 342
 Keller, M. 342
 Kerßens, A. 258
 Kiwan, A. 210
 Klindtworth, K. 286
 Klocke, D. 144
 Knapstein, K. 111
 Krause, K.-H. 197, 258
 Krieter, J. 55, 300
 Krömker, V. 144
 Kropsch, M. 266
- L**
 Latvietis, J. 158
 Laurs, A. 150, 158
 Lechner, C. 266
 Lehmann, B. 286
 Linke, S. 197
 Loebstin, C. 292
 Lötscher, M. 497
- M**
 Maack, C. 315, 358
 Mačuhová, J. 91
 Mahlkow-Nerge, K. 409
 Melfsen, A. 127
 Mertens, K. C. 497
 Meyer, C. 55
 Meyer, E. 40
- Miekley, B. 300
 Moussa, S. 238
 Müller, H.-J. 210
 Müller, K. 55
 Mußlick, M. 258
- N**
 Neiber, J. 350
 Nesor, S. 350
 Neumaier, G. 1
 Niehaus, B. 251
 Nitzer, H. 33
 Nowak, D. 322, 329
 Nydegger, F. 17
- O**
 Oppermann, P. 91
 Otten, D. 232
- P**
 Paduch, J.-H. 144
 Pahl, C. 409
 Pelzer, A. 62
 Pflanz, W. 182
 Priekulis, J. 150, 158
- R**
 Raulf-Heimsoth, M. 322, 329
 Raya, S. 308
 Reith, S. K. 415
 Retz, S. 226
 Richter, H. 62
 Richter, U. 400
 Roesler, U. 179
 Rose, T. 10
 Rose-Meierhöfer, S. 119, 473
 Rösmann, P. 280
 Roß, F. 315
 Rößler, B. 447, 454
 Rudovsky, H.-J. 135
- S**
 Salau, J. 387
 Samer, M. 210, 292
 Sander, I. 322
 Sanftleben, P. 210

Schäffer, D. 33
 Schenk, D. 473
 Schick, M. 17
 Schiefler, I. 204
 Schierl, R. 322, 329
 Schläiß, G. 135
 Schrade, S. 171
 Schröter, K. 292
 Schroth, A. 379
 Schulz, J. 179
 Schwalm, A. 431
 Simon, J. 334
 Standke, K. 245
 Steiner, A. 84
 Steiner, B. 77, 84, 342
 Stekeler, T. 447, 454
 Sternberg, L. 251
 Ströbel, U. 119
 Südekum, K.-H. 315
 Suhr, O. 387
 Sültz, J. 322, 329

T

Threm, J. 182
 Thurner, S. 1
 Thyssen, I. 497
 Traulsen, I. 55, 300
 Trei, G. 99

U

Ude, G. 431

V

Van den Weghe, H. 219, 226, 232,
 273, 460, 466, 481, 489
 Vangeyte, J. 497
 Vermeer, H. 47
 Vogel, M. 40

W

Wähner, M. 40
 Weber, A. 387
 Weber, K. 342
 Weber, R. 77
 Wechsler, B. 77, 84
 Wendl, G. 1, 91, 439
 Werhahn, H. 460, 466
 Wiedmann, R. 25
 Wirthgen, T. 379

Y

Yalcin, H. 364

Z

Zahner, J. 334
 Zahradnik, E. 322, 329
 Zeyer, K. 171
 Zinke, C. 144
 Zipser, S. 379

Schlüsselwörter

A

Abferkelbucht	69
Abferkelstall	273
Abfluss	342
Abluftreinigung	164
abnormale Milch	111
Abrufstation	423
Abscheidung	164
Absetzgewichte	55
Aktivität	415
Allergie	322
Almbewirtschaftung	1
Ammoniak	164, 171, 204, 226, 245, 258
Ammoniakemission	219, 342
Arbeitszeitbedarf	1, 17
Auslauf	460, 466
Auslaufnutzung	99
Automation	497
Automatisches Melksystem (AMS)	150

B

Ballensilage	364
Ballenwickelmaschinen	364
BCS	387
Bedürfnisse	47
Bewegung	473
Bewegungsaktivität	466
Beweidungsstrategie	1
Bewertungsrahmen	62
Bildverarbeitung	387
Broiler	99
Brunst	409, 415
Bullenmast	334

C

CUSUM Charts	300
--------------	-----

D

Datenbank	497
-----------	-----

E

Einstreumaterialien	489
Einzelbox	460, 466
Eiweiß	127
Elektronische Identifikation	439
Elektronische Nase	315
Elektronische Tierkennzeichnung	447, 454
ELISA	329
Emissionen	171, 179, 204, 210, 238, 251, 258
Emissionsfaktor	197, 219
Emissionsminderung	226
Energiebedarf	350
Energieeffizienz	280
Entmistung	77
Entmistungsanlagen, stationäre	84
Entwicklung	77
Erdwärmetauscher	273
Ethologie	62
European Research Area Network	497
Expositionsbestimmung	322

F

Faktorenanalyse	102
Feinstaub	251
Ferkelerzeugung	350
Ferkelnest	40, 69
Ferkelnestakzeptanz	40
Ferkelverluste	55
Fett	127
Filtration	179
Flüssigzusatzmittel	481
Folienschlauch	358
Freie Lüftung	171, 197, 210, 292
Freilauf	55
Fressverhalten	308, 400
Fresszeiten	84
Funktionsbereich Ruhen	62
Fußbodenbeschaffenheit	33

Futtermittel 481
 Futtermittelproduktion 238
 Futterqualität 315
 Fütterungstechnik 17

G

Gang 372
 Gefälle 342
 Geflügel 164
 Gesundheitsüberwachung 379, 423

H

Häckselgutverpackung 364
 Harnstoff 127
 Herdenmanagement 10
 Herzratenvariabilität 84
 Hitzestress 273, 292
 Hochdruckbefeuchtung 182
 HRV 460
 Hyperkeratosen 135, 144

I

ICT 497
 Immunoassay 322
 Impingement 179
 Indikatoren 62
 Infektionsrisiko 102
 Infrarot 379
 Injektat 431
 Intensive Tierhaltungsregionen 232

J

jährliche Kosten 17

K

Kalbinnen 91
 Kalbung 91
 Kastenstand 33, 55
 Klauen 379
 Klauengesundheit 25, 33
 Klimarelevante Gase 204
 Konditionszustand 55
 Kraftfutterlimit 158
 Kriterien 62
 Krypton 85 210

Kühe 158
 Kühlpad 182
 Kühlung 189, 286
 Kühlungssysteme 182

L

Lahmheit 372
 Laktose 127
 Landwirtschaft 266
 Lärmemission 266
 Lärmimmission 266
 Lauffläche 342
 Laufhof 171
 Lebendmasse 415
 Legehennen 219
 Leitfaden 266
 Lesegeräte 439
 Lesereichweite 439
 Luftführung 258
 Lufttemperatur 69
 Lüftungsrate 210

M

Maschinelles Melken 102, 144
 Mastintensität 99
 Mastitis 379
 Mastitiserkennung 300
 Mastitiserreger 111
 Mastschweine 77, 219, 286
 Melkfrequenz 150
 Melktechnik 102
 Messsystem 400
 Messtechnik 400
 Messungen unter
 Melkbedingungen 119
 Methode 62
 Milchdrüse 102
 Milchentzug 135, 144
 Milcherträge 158
 Milchkühe 10, 62, 84, 171, 219, 372,
 379, 395, 400
 Milchviehstall 204
 Minderungsmaßnahmen 219
 Monitoring 308
 MRSA 179
 Mutterkuhhaltung 334

N

N₂O-Emissionen 238
 Nutztierhaltung 62

O

Oberflächenstruktur 342
 Oberflächentemperatur Ferkelnest 40
 Ortung 10

Ö

Ödem 144
 Ökologischer Landbau 431
 Ökologische Schweinehaltung 69

P

Partikel 164, 481
 Partikelabscheidung 489
 Partikelgrößen 245
 Pedometer 372
 Pferdehaltung 473, 481
 Platzziffer 423
 Precision Dairy Management 415
 Precision Livestock Farming 447, 454
 Produktionstechnik 62

R

Raufuttermittel 489
 Reflexives Design 47
 Rektaltemperatur 431
 RFID 439, 447, 454
 Rinderhaarallergene 322
 Rinderhaarallergie 329
 Rindviehstall 342
 Roboter-Technologie 158
 Robotics 497
 Rumination 415

S

Sauen 423
 Saugferkel 40
 Schafhaltung 238
 Schall 266
 Schieber 77
 Schwanzbeißen 47
 Schwebstaubpartikel 481
 Schweine 47, 179

Schweinehaltung 286
 Schweineklauen 25
 Schweineställe 189
 Sekundäre Aerosole 245
 Sensitivität 111
 Sensoren 395, 409
 Silage 315
 Silagebewertung 315
 Silomais 358
 Simulationen 258
 Simulationstechnik 197
 Sockentupfer 179
 Spaltenbodenreinigung 226
 Sportpferd 460, 466
 Stallanlagen 334
 Stallklima 189, 258, 280, 286
 Staub 329
 Staubinhaltsstoffe 245
 Staubpartikel 489
 Staubverteilung 251
 Stickstoff- und Phosphorströme 232
 Streulichtkorrektur 127
 Struktur 358
 subkutane Temperatur 431

T

Tagesgänge 251
 Thermographie 379
 Tiergerechtheit 62, 84
 Tiergesundheit 409
 Tierkennzeichnung 454
 Tierverhalten 25, 473
 TOF 387
 Tracergas 171
 Tracergas-Technik 210
 Transponder 439, 447, 454

U

Umweltwirkungen 251
 Unterflurzuluft 182, 189

V

Vakuumverhalten 119
 Ventilatoren 292
 Verhalten 47, 62, 84, 460
 viertelindividuelles Melken 119

W

Wärmerückgewinnung	280
Warteställe	25
Wasseraufnahme	91
Wavelet-Analyse	300
Weide	473
Weidegang	395
Wiederkauaktivität	409
Wiederkäuen	400, 415
Windgeschwindigkeit	292
Wohlbefinden	47

Z

Zellzahl	111, 127
Ziegen	431
Zitzengewebe	144
Zitzengummi	135
Zitzenmorphologie	135
Zuchtsauen	33
Zuluftkonditionierung	273
Zwischenmelkzeit	150

Keywords**A**

abatement measures 219
 abnormal milk 111
 activity 415
 activity patterns 466
 agriculture 266
 airborne particles 481, 489
 air conditioning 273
 air guidance 258
 air temperature 69
 air velocity 292
 alpine farming 1
 ammonia 164, 171, 204, 226, 245, 258
 ammonia emission 219, 342
 analysis of factors 102
 animal behaviour 25, 473
 animal health 409
 animal housing facilities 334
 animal identification 454
 animal welfare 47, 62, 84
 annual costs 17
 appraisal of fodder 315
 automatic health monitoring 379
 automatic milking system (AMS) 150
 automation 497

B

baled silage 364
 barn climate 280
 bedding materials 489
 behavioral science 62
 behaviour 47, 84, 460
 body condition score 55, 387
 body weight 415
 boot swaps 179
 breeding sows 33
 broiler 99
 bull fattening 334

C

calving period 91
 cattle housing 342
 claw 379
 claw health 33
 claws of pigs 25
 cleaning of slatted floors 226
 climatization 286
 comfort class 47
 competition horse 460, 466
 concentrated feed limit 158
 cooling 286
 cooling of pig stables 189
 cooling pad 182
 cooling systems 182
 cow 400
 cow hair allergens 322
 cow hair allergy 329
 cows 158
 criterias 62
 CUSUM charts 300

D

daily variations 251
 dairy 379
 dairy barn 204
 dairy cattle 171
 dairy cows 10, 62, 84, 219, 372, 395
 database 497
 developing 77
 drainage 342
 dust 251, 329
 dust distribution 251
 dust ingredients 245

E

earth-tube heat exchanger 273
 Electronic Animal Identification 447, 454
 electronic identification 439
 electronic nose 315
 electronic sow feeder 423
 ELISA 329
 emission factor 197, 219
 emission mitigation 226
 emissions 171, 179, 204, 210, 238, 251, 258
 energy demand 350
 energy efficiency 280
 environmental impacts 251
 European Research Area Network 497
 exhaust air treatment 164
 exposure assesement 322

F

fan 292
 farrowing crate 33, 55
 farrowing house 273
 farrowing pen 69
 fat 127
 fattening pigs 77, 219, 286
 feeding behaviour 84, 308, 400
 feeding place number 423
 feeding technology 17
 feed production 238
 feeds 481
 filtration 179
 floor type 33
 fodder quality 315
 free range 99
 free ventilation 197, 292

G

gait 372
 goat 431
 gradient 342
 grazing 1, 395
 greenhouse gases 204
 growth intensity 99

H

health monitoring 423
 health of claws 25
 heart rate variability 84, 460
 heat recovery 280
 heat stress 273, 292
 herd management 10
 high pressure humidifier 182
 horse husbandry 473, 481
 hyperkeratosis 144

I

ICT 497
 image processing 387
 immunoassay 322
 impingement 179
 indicators 62
 infection risk 102
 infrared 379
 injectable transponder 431
 injuries of claws 25
 Intensive Livestock Areas (ILA) 232
 interval between milking 150

K

krypton 85 210

L

labour input 1
 lactose 127
 lameness 372
 laying hens 219
 liner barrel shape 135
 liquide additives 481

M

machine milking 102, 135, 144
 mammary gland 102
 manual 266
 manure scraper 77, 84
 mastitis 379
 mastitis detection 300
 mastitis pathogens 111
 measurementsystem 400
 milking frequency 150
 milking-time tests 119

- milk yield 158
 mother cow housing 334
 movement 473
 MRSA 179
- N**
- N₂O Emissions 238
 natural ventilation 171, 210
 needs 47
 nitrogen- and phosphorflow 232
 noise emission 266
 noise immission 266
- O**
- occupational allergy 322
 oedema 144
 oestrus 409, 415
 organic farming 431
 organic pig production 69
 outdoor exercise area 171
- P**
- packing machinery for chopped forage 364
 particle 164
 particle separation 489
 particle size 245
 pasture 473
 pedometer 372
 pig farming 286
 piglet losses 55
 piglet nest 69
 piglet nest acceptance 40
 piglet production 350
 pigs 47, 179
 plastic tube 358
 positioningsystem 10
 poultry 164
 precision dairy management 415
 Precision Livestock Farming 447, 454
 pregnant houses 25
 protein 127
- Q**
- quarter-individual milking 119
- R**
- reader 439
 reading distance 439
 rectal temperature 431
 reflexive design 47
 RFID 439, 447, 454
 robotics 497
 robotized technology 158
 roughages 489
 rumination 400, 415
 rumination activity 409
 running area 55
- S**
- scattering correction 127
 secondary aerosols 245
 sensitivity 111
 sensors 395, 409
 sensor technology 308
 separation 164
 sheep keeping 238
 silage 315
 silage maize 358
 simulations 258
 simulation technique 197
 single stall 460, 466
 somatic cell count 111, 127
 sound 266
 sows 423
 stall climate 258
 structure 358
 subcutaneous temperature 431
 suckler heifers 91
 suckling pigs 40
 surface temperature of piglet nests 40
 surface texture 342

T

teat condition 135
teat morphology 135
teat tissue 144
thermography 379
TOF 387
tracer gas 171, 210
traffic area 342
transponder 439, 447, 454
turnout 460, 466

U

underfloor air inlet 182
underground air inlet ducts 189
urea 127

V

vacuum behaviour 119
ventilation 189
ventilation rate 210

W

water intake 91
wavelet analysis 300
weaning weights 55
working-time requirement 17
wrapping of bale silage 364

Chronik

Chronicle

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	Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für angewandte Nutztierwissenschaften	49 Vorträge zweizügige Veranstaltung 180 Teilnehmer	Potsdam 13.03. Exkursion 14./15.03.1995
3	Christian-Albrechts-Universität zu 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 Landwirtschaft, Institut für Betriebstechnik und Baufor- schung	65 Vorträge 50 Poster dreizügige Veranstaltung 350 Teilnehmer	Braunschweig 01.03. Exkursion 02./03.03.2005
8	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Landtechnik	52 Vorträge 24 Poster dreizügige Veranstaltung	Bonn 08.10. Exkursion 09./10.10.2007
9	Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam- Bornim e.V. (ATB) Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät	44 Vorträge 33 Poster dreizügige Veranstaltung	Berlin 21.09. Exkursion 22/23.09.2009
10	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik	36 Vorträge 36 Poster zwei-/dreizügige Veranstaltung	Kiel 27.09. Exkursion 28./29.09.2011

Die vielseitigen Herausforderungen im Bereich zukunftsfähiger Haltungssysteme für landwirtschaftliche Nutztiere bedingen einen stetigen interdisziplinären Austausch des wissenschaftlichen und empirischen Kenntnisfortschritts. Innovative und regional angepasste Betriebslösungen, die mit dem fortschreitenden Strukturwandel in der europäischen Landwirtschaft abgestimmt sind, sowie einheitliche und nachvollziehbare Bewertungsmaßstäbe sind notwendiger denn je. Darüber hinaus werden Ideen und Impulse zur Entwicklung nachhaltiger Zukunftskonzepte und Strategien in der Tierhaltung benötigt.

Zu den umfangreichen Themen des diesjährigen Tagungsbands zählen die Tiergerechtigkeit und Umweltwirkung von Haltungssystemen für Geflügel, Rinder, Schweine und Pferde. Vertieft werden folgende Themenbereiche: Tiergerechte Haltungsverfahren, neue Entwicklungen bei Lüftungssystemen, Abluftemissionen aus Anlagen zur Tierhaltung, elektronische Tierkennzeichnung und, insbesondere in der Milcherzeugung, die frühzeitige Erkennung von Erkrankungen.

The manifold challenges in respect of adequate future husbandry systems for livestock require a continuous interdisciplinary exchange of the progress in scientific and empiric knowledge. Innovative and regionally fitted farm solutions, which are in accordance with the advancing structural changes in European agriculture, as well as standardised and reproducible evaluation criteria, are absolutely essential. Moreover, ideas and incentives for developing sustainable future concepts and strategies in animal husbandry are required.

Main topics of this year conference proceedings are animal welfare and environmental impacts of husbandry systems for poultry, dairies, pigs and horses, which are addressed in a number of publications on animal friendly husbandry systems, developments in ventilation design, exhaust air emissions from livestock husbandry, electronic animal identification, and, particularly in dairy production, early detection of diseases.

www.ktbl.de € 33 [D]

ISBN 978-3-941583-55-9



9 783941 583559