

Volume 51 · 2008 · Sonderheft

Redaktionskollegium

**E. v. BORELL, Halle; G. BROCKMANN, Berlin; R. CLAUS, Hohenheim; O. DISTL, Hannover;
G. ERHARDT, Gießen; H.-R. FRIES, Weihenstephan; E. GROENEVELD, Mariensee;
G. HERRENDÖRFER, Dummerstorf; P. HORN, Kaposvar; E. KALLWEIT, Mariensee; E. KALM,
Kiel; W. KANITZ, Dummerstorf; J. KRIETER, Kiel; K. LÖHLE, Berlin; ST. MAAK, Dummerstorf;
E. PFEFFER, Bonn; F. PIRCHNER, Innsbruck; E. RITTER, Rostock; H. H. SAMBRAUS, München;
K. SCHELLANDER, Bonn; G. SCHÖNMUTH, Berlin; A. SCHOLZ, München; L. SCHÜLER, Halle;
H. J. SCHWARK, Leipzig; M. SCHWERIN, Dummerstorf; G. SEELAND, Berlin; H. H. SWALVE,
Halle; A. VALLE ZÁRATE, Hohenheim; K. WIMMERS, Dummerstorf;
J. WOJTOWSKI, Poznan**

Sonderheft

**Tierproduktion im 21. Jahrhundert:
Die Herausforderungen**

5. Wilhelm-Stahl-Symposium am 9. Oktober 2008 in Dummerstorf

Arch. Tierz., Dummerstorf 51 (2008) Sonderheft, 1 - 98

ISSN 0003-9438

Instructions for authors and terms of publication

“Archives of Animal Breeding” publishes original scientific contributions as well as short communications dealing with animal breeding research.

Manuscripts should be forwarded to: Research Institute for the Biology of Farm Animals (FBN)
Editorial office “Archives of Animal Breeding”
Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf, Germany
email: arch.anim@fbn-dummerstorf.de

The author(s) bear full responsibility for the contents of their contribution. Only contributions which have not previously been published will be accepted. All manuscripts are reviewed by specialists in their field as well as by the Editorial Board. When preparing a manuscript the author(s) should follow the following guidelines: Manuscripts should be submitted in duplicate by mail to the editorial office. In addition, electronic submission by email attachment is appreciated. Pictures can be processed if provide in ESP or TIFF formats. Manuscript should be written in clear, concise and grammatically and linguistically correct English or German language. Full papers are limited to 15 pages in length including tables, figures, abstracts and referees. Short communications are limited to 6 pages only.

The heading of the manuscript should be arranged as follows: Place of origin (Institution); First and surname(s) of the author(s); Title of the contribution (in English and German).

Preparation of papers: 1. Abstract + Keywords (in English and German); 2. Introduction; 3. Materials and Methods; 4. Results (headings of tables and figures in English and German); 5. Discussion; References (the bibliography should be alphabetically ordered – author, title, journal, city of publication, volume, year, number, page) The authors addresses and academic degrees should be given at the end of the contribution.

The exclusive right to the use of the manuscript pass from the author(s) to the publishers with the acceptance of the manuscript by the editors. No fee is paid for publication. The corresponding author receives a reprint and a PDF-file of the printed paper.

Hinweise und Veröffentlichungsbedingungen für Autoren

Das „Archiv für Tierzucht“ veröffentlicht sowohl wissenschaftliche Originalarbeiten als auch Kurzmitteilungen aus der Tierzuchtforschung.

Manuskripte sind zu senden an: Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN), Redaktion „Archiv für Tierzucht“
Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf, Deutschland
E-Mail: arch.anim@fbn-dummerstorf.de

Die Verantwortung für ihre Veröffentlichungen tragen die Autoren selbst. Es werden nur Arbeiten angenommen, die vorher an keiner anderen Stelle publiziert wurden. Alle Manuskripte werden von Mitgliedern des Redaktionskollegiums und von Spezialisten der jeweiligen Gebiete begutachtet. Manuskripte sind in zwei Exemplaren in der Redaktion einzureichen. Zusätzlich sollten die Manuskripte in elektronischer Form (E-Mail-Anhang) eingereicht werden. Als Bildformate können EPS- und TIFF-Dateien verarbeitet werden. Das Manuskript sollte in einwandfreiem Englisch oder Deutsch abgefasst sein. Wissenschaftliche Beiträge sind auf 15 Seiten, Kurzmitteilungen auf 6 Seiten, einschließlich Tabellen, Abbildungen, Zusammenfassung und Literatur, begrenzt. Tabellen sind im Hochformat einzureichen. Der Kopf des Manuskriptes enthält in der genannten Reihenfolge: Entstehungsort (Institution), Vor- und Zunamen des Autors (der Autoren) und den Titel der Arbeit (in englischer und deutscher Sprache).

Gestaltung des Manuskriptes: 1. Zusammenfassung und Schlüsselwörter (Abstract and Keywords); 2. Einleitung; 3. Material und Methoden; 4. Ergebnisse (Überschriften der Tabellen und Abbildungen in englischer und deutscher Sprache); 5. Diskussion; Literatur (alphabetisch geordnet: Verfasser, Titel, Zeitschrift, Erscheinungsort, Jahrgang, Jahr, Heft, Seiten). Am Ende des Beitrages sind Anschrift und Titel des/der Verfasser(s) anzugeben. Mit der Annahme des begutachteten Manuskriptes überträgt der Autor dem Herausgeber das ausschließliche Nutzungsrecht. Der Abdruck ist honorarfrei. Der federführende Autor erhält unentgeltlich ein Belegexemplar und den gedruckten Beitrag als PDF-Datei.

Archives of Animal Breeding **A** **Archiv für Tierzucht**

**Tierproduktion im 21. Jahrhundert:
Die Herausforderungen**

**5. Wilhelm-Stahl-Symposium
am 9. Oktober 2008 in Dummerstorf**

Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere
Dummerstorf

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei
Mecklenburg-Vorpommern

Humboldt Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich - Gärtnerische Fakultät

Redaktion des Sonderheftes: Prof. Dr. Wilhelm Kanitz und Dr. Gunther Viereck

Herausgeber / Editor

Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN), Dummerstorf, Deutschland
Research Institute for Biology of Farm Animals (FBN), Dummerstorf / Germany

Archives of Animal Breeding / Archiv für Tierzucht

Edited by: Research Institute for Biology of Farm Animals (FBN), Dummerstorf / Germany

Editor in Chief: Prof. Dr. KLAUS WIMMERS, Research Institute for the Biology of Farm Animals (FBN), 18196 Dummerstorf / Germany

Editorial Office: Prof. Dr. ERNST RITTER, Dr. GUNTHER VIERECK, Research Institute for the Biology of Farm Animals (FBN), 18196 Dummerstorf / Germany

Die Zeitschrift „Archives of Animal Breeding / Archiv für Tierzucht“ publiziert sowohl Originalarbeiten als auch Kurzmitteilungen über Methoden und Ergebnisse von Untersuchungen auf den Gebieten der tierzüchterischen Grundlagenforschung und der angewandten Tierzucht in deutscher und englischer Sprache. Die Publikationen beinhalten Themen zur quantitativen und qualitativen Genetik von landwirtschaftlichen Nutztieren einschließlich Pferd, Rind, Schwein, Schaf, Ziege und Geflügel sowie andere Kleintiere. Es werden Arbeiten veröffentlicht, die sich mit Molekular- oder Reproduktionsbiologie, Verhaltens- oder Ernährungsphysiologie, Muskelbiologie und Wachstum, Ökologie, Tier- und Umweltschutz und Zuchtökonomie befassen, soweit sich diese auf tierzüchterische Aspekte beziehen.

“Archives of Animal Breeding / Archiv für Tierzucht” publishes original research papers as well as short communications or reviews on methods and results of basic and applied research in animal breeding in German or English language. Publications cover quantitative and qualitative genetics of farm animals including horse, cattle, pig, sheep, goat, poultry and other small animals, biometrics and genetic statistics and investigations and development of animal models. Contributions dealing with molecular or reproductive biology, behavioural or nutritional physiology, muscle biology and growth, ecology, animal welfare and economics are published if addressing animal breeding aspects.

Published annually as one volume comprising 6 issues (the annual volume concludes with a list of authors and a list of contents). Annual subscription price (print + free online access): 125 € plus postage.

Orders to be directed to every bookseller or the editorial office:

Research Institute for the Biology of Farm Animals (FBN)
Editorial Office “Archives of Animal Breeding”
Wilhelm-Stahl-Allee 2
18196 Dummerstorf
Germany

email: arch.anim@fbn-dummerstorf.de
phone: 0049 38208 68608; fax: 0049 38208 68602

ISSN 0003-9438

All rights reserved: Articles published in this journal are under copyright protection. Such rights as arise from it reserved, in particular those of translation, reprinting, public lecture, reproduction of illustrations and tables microfilming or other methods of reproduction, except the summaries. Copying single articles or parts of them is only allowed with permission from the publisher.

Print: Printed in Germany by Druck & Werbewerkstatt, 18057 Rostock

Danksagung

Die Veranstalter danken für die Unterstützung des 5. Wilhelm-Stahl-Symposiums

Agrargenossenschaft Bartelshagen I e.G.

ADAP Rinderzucht GmbH Ahrenshagen

ADDCON Agrar GmbH Bonn

Agroprodukt-Qualitätssicherungs GmbH Bestensee

AHRHOFF GmbH Rellingen

Baukonzept Neubrandenburg

Besamungsverein Neustadt/Aisch e.V.

Big Dutchmann International GmbH Vechta

Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH

Danisco Sugar GmbH, Zuckerfabrik Anklam

Dr. Pieper Technologie- u. Produktentwicklung GmbH Wuthenow

Erzeugergemeinschaft BIOPARK-MARKT GmbH Malchin

FUGEMA Futtermittel- u. Getreidehandels GmbH & Co. KG Malchin

GbR A. Roder & Söhne Viecheln

Genossenschaftsverband Norddeutschland e.V. Schwerin

Getreide AG Rendsburg, Vollkraft Mischfutterwerke GmbH

GGAB Agrarbetrieb GmbH Groß Grenz

Gut Darß GmbH & Co. KG

Gut Dummerstorf GmbH

Gutsverwaltung Dewitz, A. Layher + Geschwister GbR

Hansa-Milch M-V/Holstein e.G. Upahl

Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. Malchin

Jasmunder Milcherzeugungs GmbH Sagard

Küstenland Milchunion MV GmbH Altentreptow

Landwirtschaftsbetrieb Griepentrog KG Steinhagen

Landwirtschaftsbetrieb Wendhof

Lenzener Wische Rinderzucht GmbH
Lewitz-Naturprodukte e. G. Goldenstädt
Lohmann Animal Health GmbH & Co. KG Cuxhaven
MIHG mbH Petschow
Milchhof Alt Sührkow GmbH
Müritz Fleischproduktionsgesellschaft mbH & Co. KG Hohen Wangelin
Müritz-Milch GmbH Waren
Neu Kaliss Spezialpapier GmbH
NORLAC GmbH Zeven
Omnichem GmbH Bremen
PAL Anlagenbau GmbH Abtshagen
Pfizer GmbH Karlsruhe
PIC Deutschland GmbH Schleswig
R. u. M. Streeb GbR Niegleve
Raminer Agrar GmbH & Co.KG
REKASAN[®] GmbH Kaulsdorf
Rinderzucht Mecklenburg-Vorpommern GmbH Woldegk
Rücker´s Ostsee-Molkerei Wismar GmbH
Salvana Tiernahrung GmbH Elmshorn
Schweinemastanlage Todendorf e.G.
Spezialfutter Neuruppin GmbH & Co.KG
Teterower Fleisch GmbH
Tierzucht Gut Losten GmbH & Co. KG
VION Fleischzentrum Perleberg
ZMV Zentralkäserei Dargun GmbH

MANFRED STOCK

Klimawandel und Szenarien für Deutschland und ihre möglichen Folgen für Land- und Wasserwirtschaft

Kurzfassung eines Festvortrags auf dem 5. Wilhelm-Stahl-Symposium in Dummerstorf am 9. Oktober 2008

Abstract

A climate change scenario for Germany until 2055 is described as a first step to assess climate impacts on agriculture and water resources. The impacts depend further more on adaptation measures in land and water management. But the existing chances of adaptation can only be used if assisted by proper and consequent measures to reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: climate change, impacts, land management, water management, adaptation

Zusammenfassung

Ein Klimawandelszenario für Deutschland bis 2055 wird vorgestellt, um die möglichen Folgen für die Land- und Wasserwirtschaft abzuschätzen zu können. Die Auswirkungen sind im starken Maße davon abhängig, ob Anpassungsmaßnahmen in der Land- und Wasserwirtschaft greifen. Ein Schwerpunkt muss dabei auf konkreten und konsequenten Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen liegen.

Schlüsselwörter: Klimawandel, Auswirkungen, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Anpassung

Einleitung

Das Klima hat sich im Verlauf der Erdgeschichte häufig verändert und befindet sich derzeit am Anfang einer neuen globalen Erwärmung, an der die Menschheit wesentlich beteiligt ist. Spätestens seit 1970 sind die Beobachtungsdaten ohne die anthropogenen Treibhausgasemissionen nicht mehr zu erklären. Eine Konsequenz des Klimawandels ist, dass die an charakteristische regionale Witterung angepassten Bewirtschaftungsformen nachgebessert werden müssen. Dies betrifft auch Land- und Forstwirtschaft, Wasserver- und -entsorgung und Versicherungsrisiken.

Szenarien und Perspektiven des Klimawandels

Der aktuelle Bericht des UN-Weltklimarates (IPCC 2007: <http://www.ipcc.ch>) macht deutlich, dass die Zukunft von Wirtschaft und Gesellschaft in diesem Jahrhundert entscheidend von den jetzt zu treffenden Weichenstellungen zu Klimaschutz und Anpassung abhängt. Abbildung 1 zeigt die für verschiedene Szenarien unterschiedliche Entwicklung der globalen Erwärmung in diesem Jahrhundert im Vergleich zu den Beobachtungsdaten des vorangegangenen.

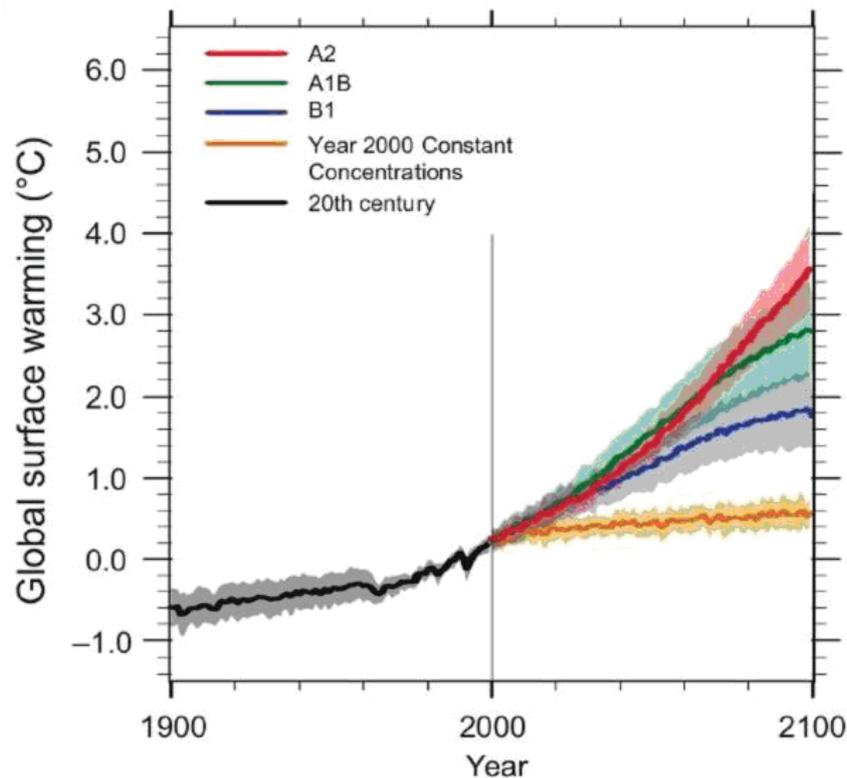


Abb. 1: Beobachtungsdaten der Globalen Erwärmung von 1900 bis 2000 und Szenarien bis 2100 (relativ zu 2000) nach IPCC 2007 (<http://www.ipcc.ch>)

Im Prinzip haben wir die Wahl zwischen zwei gegensätzlichen Pfaden in die Zukunft:

- Beim Klimaschutzpfad (etwa Szenario B1 in Abbildung 1) gelingt es mit einem ehrgeizigen Umbau der Nutzungsstrukturen von Energie- und anderen Ressourcen, die globale Erwärmung auf 2 Grad über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Durch Anpassungsmaßnahmen lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels zumindest in den Industrienationen in akzeptablen Grenzen halten, teilweise können sich auch Vorteile ergeben und Chancen nutzen lassen.
- Beim Pfad „Business as usual“ (Szenario A2 in Abbildung 1) ist die Nutzung fossiler Ressourcen lediglich durch die derzeit herrschenden Gesetze des Marktes begrenzt, was zu einer deutlich stärkeren Erwärmung führt. In den ersten drei Jahrzehnten dieses Jahrhunderts unterscheiden sich die Klimafolgen noch wenig von Pfad A. In den folgenden Jahrzehnten muss aber damit gerechnet werden, dass eine zunehmende Häufung extremer Ereignisse die Anpassungsmöglichkeiten überfordern – mit entsprechenden negativen Begleiterscheinungen. Für ein Umsteuern dürfte es dann aber wegen der Trägheit des Klimasystems zu spät sein.

Der extrem heiße Sommer 2003 in Westeuropa liegt außerhalb der bisherigen Statistik der Sommertemperaturen und könnte ein Modell dafür sein, was zukünftig ab 2040 ein eher normaler oder ab 2060 ein eher kühler Sommer sein könnte. Kennzeichen waren Bilder von verdorrten Feldern und Niedrigwasser in Flüssen, aber auch etwa 50 000 zusätzliche Hitzetote in Europa im August 2003. Erinnern wir uns ein Jahr weiter zurück: Hochwasser an Elbe, Mulde und Donau im Sommer 2002. Bei den mit verschiedenen Extremereignissen zusammenhängenden Großwetterlagen sind Veränderungen etwa seit 1970 festzustellen (STOCK, 2003).

Regionale Klimaänderung in Deutschland

Hinsichtlich der Temperaturentwicklung haben die globalen Klimamodelle eine für regionale Auswirkungen in der Regel brauchbare Genauigkeit. Dies gilt nicht in gleichem Maße für andere Klimaparameter, die für die Abschätzung von zu erwartenden Auswirkungen ebenfalls von Bedeutung sind, wie z. B. die Entwicklung der Niederschläge. Bei der zukünftigen Niederschlagsentwicklung zeigen verschiedene Klimamodelle jahreszeitlich und regional differenziert zum Teil unterschiedliche Trends.

In Deutschland werden vier Regionale Klimamodelle eingesetzt, um für Regionen genauere Aussagen zu ermitteln. Es sind die statistischen Modelle WETTREG (CEC Potsdam) und STAR (PIK Potsdam) sowie die dynamischen Modelle REMO (MPI Hamburg) und CCLM (COSMO-CLM). Letzteres ist eine Gemeinschaftsentwicklung verschiedener Institutionen (COSMO: Consortium for Small-scale Modelling und CLM: Climate Limited-area Modelling Community). Szenarien für Deutschland aus Berechnungen der Modelle WETTREG und REMO stellt das Umweltbundesamt bereit (UBA, 2007). Derzeit wird beim DWD und am PIK in einem Modellvergleich untersucht, wie gut die Berechnungen für die vergangenen Jahrzehnte mit den Beobachtungsdaten übereinstimmen. Die Ergebnisse werden bis Ende 2008 erwartet. Das am PIK verwendete statistische Regionalmodell STAR mit einem sogenannten „downscaling“ von Temperaturtrends globaler Klimamodelle liefert regionale Klimaszenarien für den Zeitraum 1951 bis 2055, die an der Klimaentwicklung der Vergangenheit erfolgreich validiert werden konnten und inzwischen mit verbesserter Genauigkeit vorliegen. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen Ergebnisse für die saisonale Entwicklung von Temperatur und Niederschlag in Deutschland auf der Basis eines A1B-Szenarios (GERSTENGARBE und WERNER, 2005; WERNER und GERSTENGARBE, 2007).

Die im Jahresmittel regional differenzierte Erwärmung von 1,7 bis 2,4 K ist im Herbst und Winter stärker als im Frühjahr und Sommer. Damit erfolgt eine Ausweitung der Vegetationsperiode sowie eine Veränderung des winterlichen Schnee- und Frostregimes. Das Risiko von Spätfrostschäden sinkt wegen des früheren Austriebs nicht.

Ferner ist zu erwarten, dass sich die schon in den letzten Jahrzehnten beobachtete regionale und zeitliche Ungleichverteilung des Niederschlags weiter verstärkt. Das bedeutet mehr Niederschlag im Winter und weniger im Sommer sowie eine negative klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode vor allem im Osten Deutschlands. Es deutet sich an, dass der Trend zu mehr Starkregenereignissen bei abnehmendem Dauer- bzw. Landregen sich weiter fortsetzt. Dies verstärkt Erosionsrisiken und Wasserdefizite.

Mögliche Folgen für Land- und Wasserwirtschaft

Für die Landwirtschaft hat der Klimawandel positive und negative Wirkungen zugleich. Einerseits steigt der Wasserstress der Pflanzen in den Sommermonaten, andererseits wirkt der Anstieg der Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre wie ein Düngemittel. Er stimuliert die Photosynthese und mindert die Folgen der Trockenheit. Die hier dargestellten Projektionen der Klimaentwicklung werden sich unmittelbar auf den Alltag der landwirtschaftlichen Betriebe auswirken.

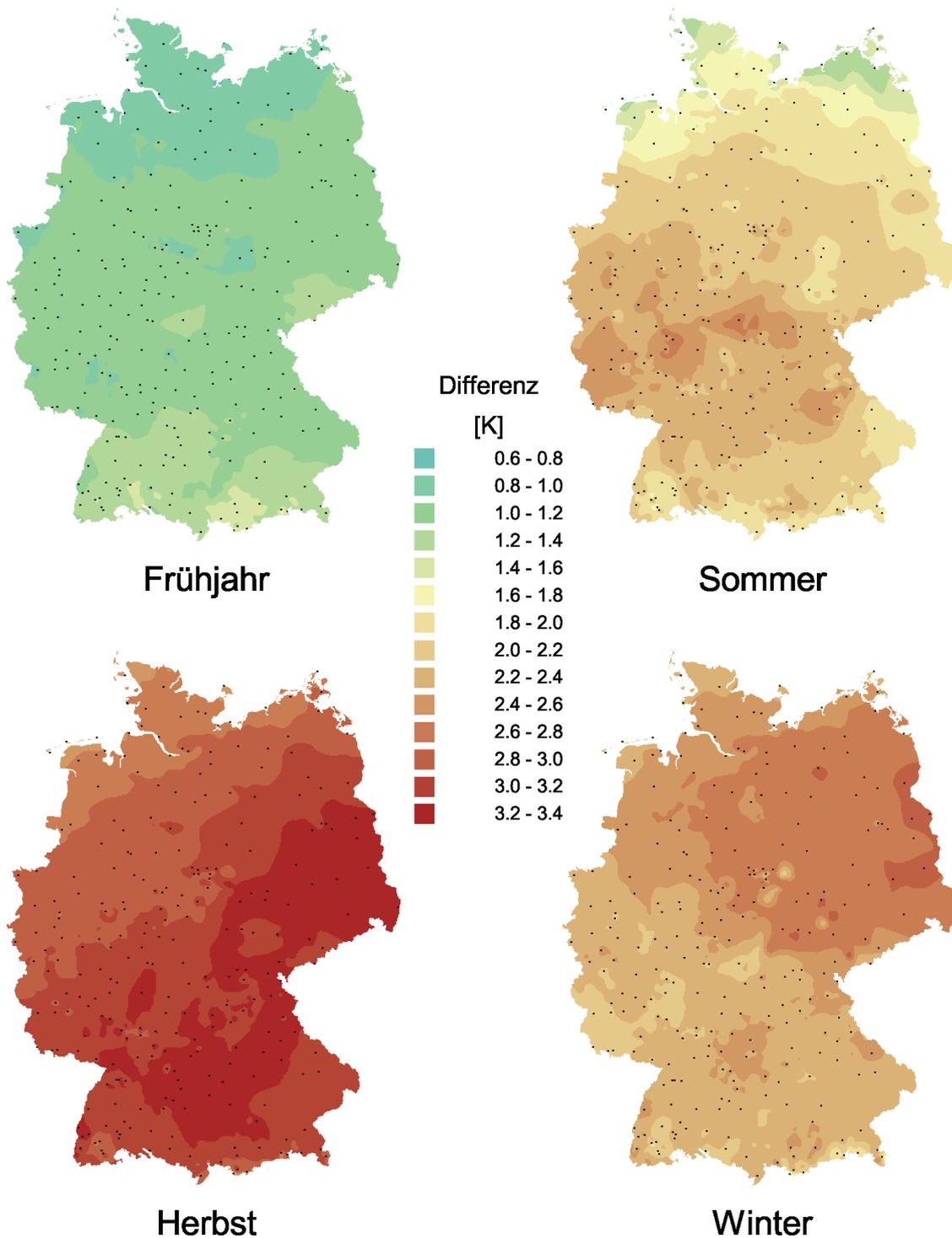


Abb. 2: Temperaturänderung in Deutschland für die vier Jahreszeiten als Differenz im Jahrzehnt 2046-2055 gegenüber dem Zeitraum 1951-2003. Berechnung mit dem statistischen Regionalmodell STAR; Datengrundlage: 2342 Stationen des DWD (schwarze Punkte), Szenario A1B-Temperaturverlauf (GERSTENGARBE und WERNER, 2005; WERNER und GERSTENGARBE, 2007)

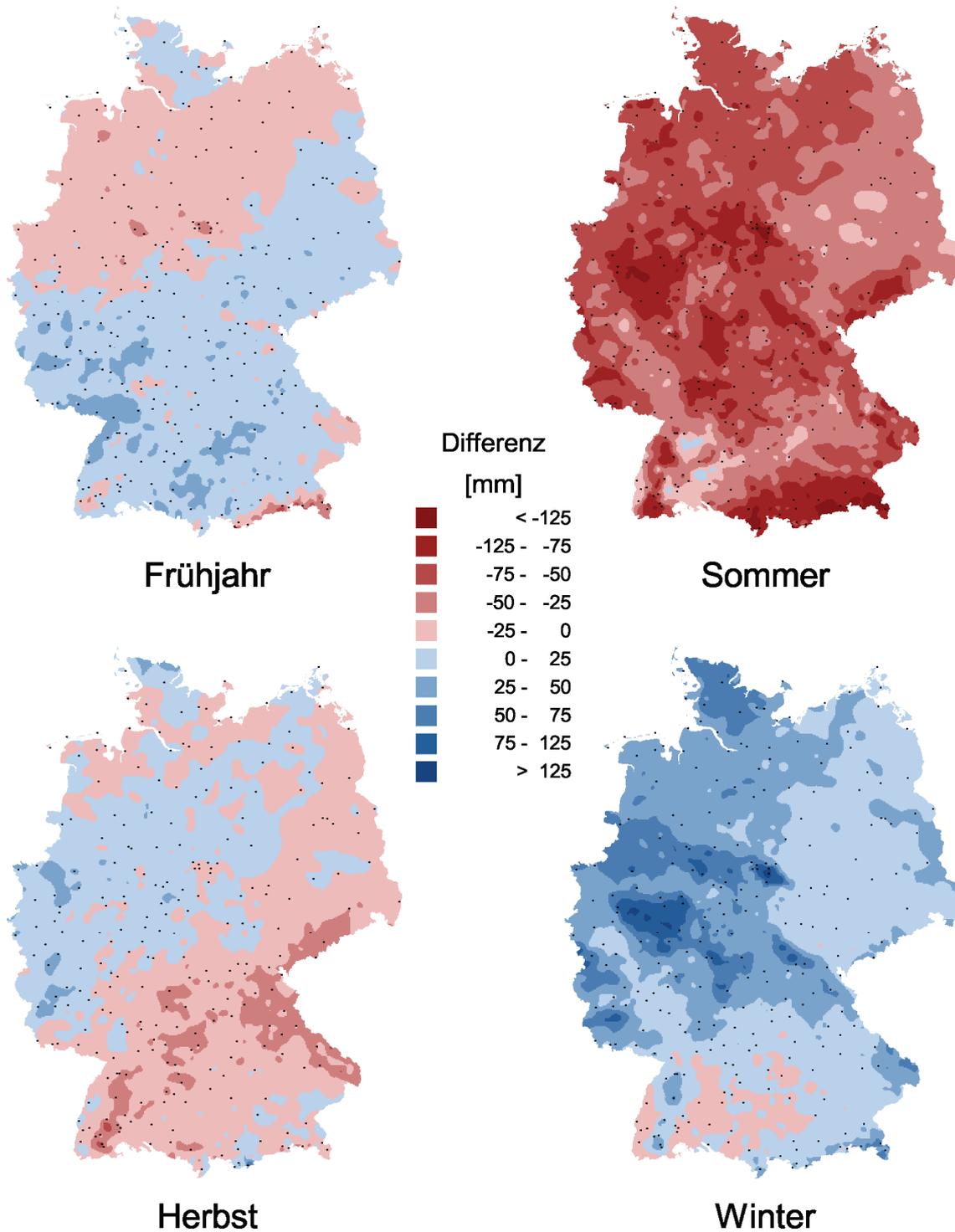


Abb. 3: Niederschlagsänderung in Deutschland für die vier Jahreszeiten als Differenz im Jahrzehnt 2046-2055 gegenüber dem Zeitraum 1951-2003. Berechnung mit dem statistischen Regionalmodell STAR; Datengrundlage: 2342 Stationen des DWD (schwarze Punkte), Szenario A1B-Temperaturverlauf (GERSTENGARBE und WERNER, 2005; WERNER und GERSTENGARBE, 2007)

So sind langfristige Ertragsaussichten wichtige Faktoren für Bodenpreise und Pachten. Traditionell richten sich landwirtschaftliche Produktionsmethoden und Standortwahl nach naturräumlichen, wie z. B. der Bodenbeschaffenheit, und klimatologischen Bedingungen, wie der Wasserverfügbarkeit. Bereits geringfügige klimatische Verschiebungen können sich auf die landwirtschaftliche Produktivität, auf Vegetationsbeginn, Wachstum und Erntebeginn auswirken. In einigen Regionen nimmt der Wasserstress im Sommer stark zu. Ertragseinbußen von 10-20% für Wintergetreidearten sind – bei einem ungebremsen Klimawandel – im Osten Deutschlands ein durchaus vorstellbares Szenario. Eine neue Studie zeigt aber eine teilweise Entwarnung (WECHSUNG et al., 2008). Die gute Nachricht für die ostdeutsche Landwirtschaft lautet danach, dass es sich weiterhin lohnt, hier zu investieren – und das auch unter den Bedingungen des Klimawandels. Selbst an niederschlagsarmen sandigen Standorten ist Anpassung an die veränderten Anbaubedingungen möglich. Die möglichen Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen in Dürreperioden hängen stark von der Entwicklung der Wasserressourcen ab. Das erfordert im Bereich der Wasserwirtschaft eine stärkere Flexibilität hinsichtlich der zu erwartenden stärkeren Variabilität bei Niederschlägen und Abflüssen. Neben einer gefahrlosen Ableitung der zu erwartenden Starkniederschläge kommt den Speicherfunktionen im Landschaftswasserhaushalt eine zunehmende Bedeutung zu. Neben dem Schutz natürlicher Speicherfunktionen von Böden und Vegetation ist standortbedingt auch eine dezentrale Versickerung von geklärtem Abwasser in Betracht zu ziehen. In praktisch allen Wirtschaftsbereichen der Landwirtschaft sind neben spezifischen Maßnahmen zum Klimaschutz daher die Anpassungen an bereits stattfindende und zu erwartende Auswirkungen des Klimawandels für die Folgen entscheidend. Im Wettbewerb können dadurch Vorteile ohne Anpassung aber vor allem Nachteile entstehen. Abbildung 4 soll die Rolle von betriebs- und produktionstechnischen Anpassungsmaßnahmen an Klimaänderungen veranschaulichen.

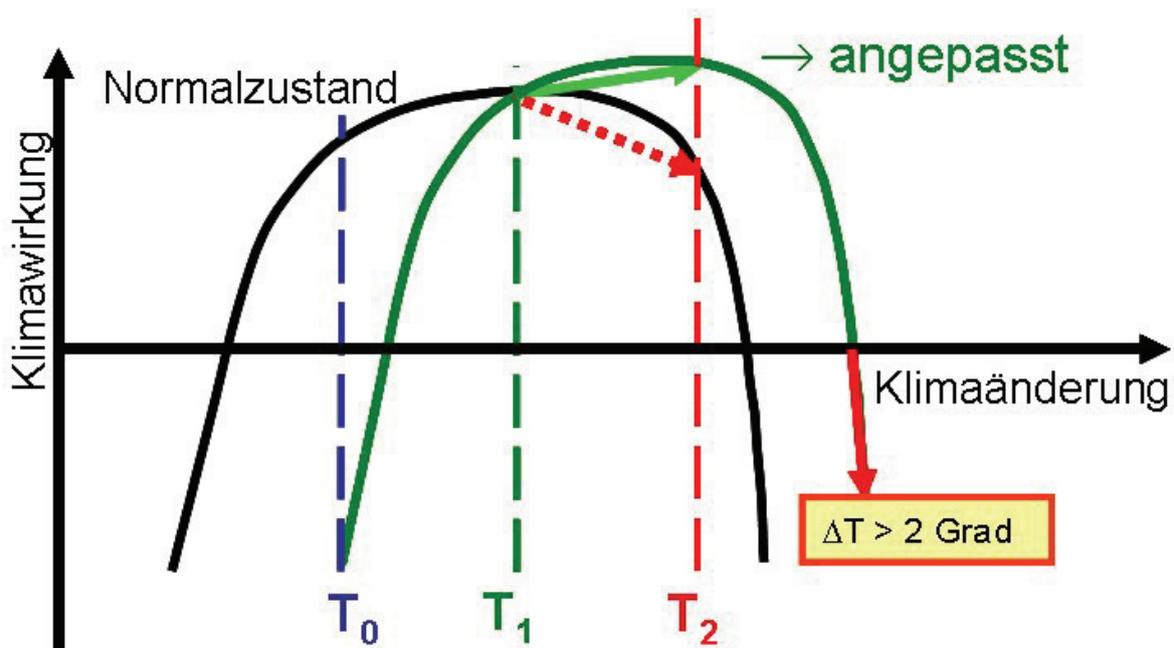


Abb. 4: Schematische Beziehung zwischen Klimaänderung und Klimawirkung ohne und mit Anpassung (STOCK, 2005)

Die Klimawirkung, d.h. Gewinn oder Verlust, hängt von den Betriebs- und Produktionsbedingungen und ihrer Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen der klimatischen Randbedingungen ab. Dabei ist zu unterscheiden zwischen direkten Auswirkungen an den Produktionsstandorten und indirekten infolge von Veränderungen bei Ressourcen, Zulieferung oder Nachfrage. Über den Weltmarkt ist Deutschland daher auch von im Klimawandel sich verändernden Faktoren wie Energiepreise, Ernteerträge und Nahrungsbedarf in anderen Erdteilen betroffen.

Literatur

- GERSTENGARBE, F.-W.; WERNER, P.C.:
private Mitteilung (2005)
- SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, F.:
Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2; Endbericht für das Umweltbundsamt. (2007)
- STOCK, M.:
Chancen und Risiken im Klimawandel: Welche Strategien kann die Wissenschaft ableiten? Aus: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), KARL, H.; POHL, J. (Hrsg.): Raumorientiertes Risikomanagement in Technik und Umwelt – Katastrophenvorsorge durch Raumplanung. Hannover (2003), 132-153
- STOCK, M.:
Klimafolgenforschung. Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gesellschaft – Fallstudien. UWSF – Zschr. Umweltchemie u. Ökotoxikol. 16 (2004) 2, 115-124
- STOCK, M.:
Klimaveränderungen fordern die Winzer – Bereitschaft zur Anpassung ist erforderlich; Geisenheimer Berichte, Bd. 57 (2005), 29-48
- WECHSUNG, F.; GERSTENGARBE, F.-W.; LASCH, P.; LÜTTGER, A.:
Die Ertragsfähigkeit Ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel; Studie im Auftrag der Bodenverwertungs- und -verwaltungs- GmbH (BVVG) (2008)
- WERNER, P.C.; GERSTENGARBE, F.-W.:
Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten?, in: ENDLICHER, W.; GERSTENGARBE, F.-W. (Hrsg.): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam (2007), 56-59
- ZEBISCH, M.; GROTHMANN, T.; SCHRÖTER, D.; HASSE, C.; FRITSCH, U.; CRAMER, W.:
Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt-FB 000844, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2947.pdf>

Autor:

Hon. Prof. Dr. MANFRED STOCK
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Telegrafenberg A62
14473 Potsdam
Deutschland

E-Mail: stock@pik-potsdam.de

ALFONS BALMANN und FRANZISKA SCHAFT

Zukünftige ökonomische Herausforderungen der Agrarproduktion: Strukturwandel vor dem Hintergrund sich ändernder Märkte, Politiken und Technologien

Abstract

Title of the paper: **Future economic challenges in agricultural production: Structural change in the face of changing markets, policies and technologies**

Though technological progress is a main source of economic growth, structural change in agriculture is often controversially discussed. One reason is that structural change does not benefit all stakeholders but also creates losers. Conflicts arise also because stakeholders perceive changes in quite different ways. Specific aspects of structural change in agriculture are the tendencies towards ruinous competition and an increasing dualism in farm structures. Critical issues for successful structural change imply that internal adjustments keep pace with external drivers and that moreover the agricultural value chains sustain international competitiveness. Actual developments in the economic, technological and political environment indicate that the drivers of structural change reach new dimensions: Markets change rapidly through an increasing importance of vertical integration, international shifts in supply and demand as well as the increasing demand for non-food uses of agricultural products. Regarding technological changes, bio-technology creates new opportunities while the ever increasing capital intensity of agricultural production will lead to a situation in which returns to capital become more important than labour income. Moreover, it has to be expected that after 2013 the financial contributions within the EU Common Agricultural Policy may be reduced substantially. This article analyses some of these aspects and discusses the evolving challenges.

Keywords: structural change, vertical integration, industrialisation of agriculture, agricultural policy

Zusammenfassung

Obwohl technischer Fortschritt die Basis der Wohlstandsentwicklung unserer Gesellschaft bildet, ist der Terminus „Agrarstrukturwandel“ in der politischen Diskussion negativ belegt. Ein Grund ist, dass struktureller Wandel nicht notwendigerweise zum Vorteil für alle Beteiligten führt, sondern es auch Verlierer geben kann. Konflikte entstehen zudem dadurch, dass es viele verschiedene Interessengruppen gibt, die spezifische Sichtweisen haben. Im Zusammenhang mit dem Agrarstrukturwandel spielen unterschiedliche Faktoren eine Rolle, wie etwa ein ruinöser Wettbewerb oder ein zunehmender Dualismus in den Agrarstrukturen. Für die erfolgreiche Bewältigung des Strukturwandels ist es hier einerseits von entscheidender Bedeutung, inwiefern auf Betriebs- und Unternehmensebene die internen betrieblichen und unternehmerischen Anpassungen mit den externen Triebkräften Schritt halten können und sich andererseits dabei auch die Wertschöpfungsketten insgesamt so weiterentwickeln, dass sie international wettbewerbsfähig bleiben. Ausgehend vom derzeitigen wirtschaftlichen, politischen und technischen Umfeld des Agrarsektors, gibt es verschiedene Anzeichen, dass die Triebkräfte des Strukturwandels in neue Dimensionen vorstoßen: Die Marktbedingungen ändern sich rapide – etwa durch die wachsende Bedeutung der vertikalen Koordination, internationale Verschiebungen von Angebot und Nachfrage sowie die stark wachsende Nachfrage nach Agrarerzeugnissen für Nichtnahrungszwecke. Hinsichtlich der technologischen Veränderungen ergeben sich neue Möglichkeiten aus der Biotechnologie und ebenso eine weiter steigende Kapitalintensität der Landwirtschaft, die darauf hindeutet, dass die Entlohnung des Faktors Arbeit irgendwann weniger bedeutsam sein wird, als die des Faktors Kapital. Zusätzlich deutet einiges darauf hin, dass nach 2013 der EU Agrarhaushalt drastisch verkleinert werden könnte. In diesem Beitrag werden einige dieser Aspekte analysiert und mit Blick auf besondere Herausforderungen diskutiert.

Schlüsselwörter: Strukturwandel, vertikale Integration, Industrialisierung der Landwirtschaft, Agrarpolitik

Einleitung

Obwohl technischer Fortschritt eine wesentliche Basis der Wohlstandsentwicklung unserer Gesellschaft ist und der Begriff „Wandel“ grundsätzlich wertneutral betrachtet werden sollte, ist der Terminus „Agrarstrukturwandel“ in der politischen Diskussion vorwiegend negativ belegt. Nicht selten wird er mit Begriffen wie „Bauernsterben“ und bei größeren landwirtschaftlichen Unternehmen „Agrarfabriken“ verbunden. So finden Internetsuchmaschinen teilweise mehr Einträge für die beiden letztgenannten Begriffe als für die Stichworte „Agrarstrukturwandel“ bzw. „landwirtschaftlicher Strukturwandel“. Erklären lässt sich dieser Umstand einerseits damit, dass struktureller Wandel analog des Schumpeterschen Konzepts der „kreativen Zerstörung“ nicht notwendigerweise zu Win-win-Situationen für alle Beteiligten führen muss, sondern es auch Verlierer geben kann, z. B. weil alte Technologien entwertet werden und sich deren Nutzer bzw. Eigentümer nicht ohne weiteres anpassen können. Konflikte entstehen vor diesem Hintergrund auch dadurch, dass es viele Interessengruppen gibt, die in unterschiedlicher Weise betroffen sind und spezifische Sichtweisen haben, was sich nicht zuletzt in politischen Diskussionen zu Konfliktthemen wie etwa den Auswirkungen der Globalisierung oder der Genehmigung größerer Tierproduktionsanlagen widerspiegelt. Im Zusammenhang mit dem Agrarstrukturwandel spielen darüber hinaus spezifische sektorale Faktoren eine Rolle, wie ein ruinöser Wettbewerb sowie ein zunehmender Dualismus in den Agrarstrukturen. Letzterer bewirkt, dass der größte Teil der Produktion durch einen kleinen Teil zunehmend größerer bzw. großer Unternehmen erfolgt, während die zumeist sehr große Anzahl kleiner und sehr kleiner Betriebe wirtschaftlich gesehen oft eine untergeordnete Rolle spielt. Für die erfolgreiche Bewältigung des Strukturwandels ist hier einerseits von entscheidender Bedeutung, inwiefern auf Betriebs- und Unternehmensebene die internen betrieblichen und unternehmerischen Anpassungen mit den externen Triebkräften Schritt halten können und sich andererseits dabei auch die Wertschöpfungsketten insgesamt so weiterentwickeln, dass sie international wettbewerbsfähig bleiben. Im Ergebnis befindet sich im landwirtschaftlichen Primärsektor in der Regel nur ein kleiner Teil der Unternehmen auf einem Wachstumspfad, während die wirtschaftliche Entwicklung beim größeren Teil mehr oder minder stagniert, bevor er irgendwann – zumeist im Rahmen des Generationswechsels in der Leitung – endgültig ausscheidet.

Betrachtet man das derzeitige wirtschaftliche, politische und technische Umfeld des Agrarsektors, gibt es verschiedene Anzeichen, dass die Triebkräfte des Strukturwandels in neue Dimensionen vorstoßen: Die Marktbedingungen ändern sich rapide – etwa durch die wachsende Bedeutung der vertikalen Koordination, internationale Verschiebungen von Angebot und Nachfrage sowie die stark wachsende Nachfrage nach Agrarerzeugnissen für Nichtnahrungszwecke. Zusätzlich werden in der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU zunehmend Stimmen laut, die darauf hindeuten, dass nach 2013 der EU Agrarhaushalt deutlich verkleinert werden könnte. Hinsichtlich der technologischen Veränderungen eröffnet die Biotechnologie neue Möglichkeiten. Allerdings deutet die steigende Kapitalintensität der Landwirtschaft darauf hin, dass die Entlohnung des Faktors Arbeit – wie schon aktuell in manchen Bereichen der Tierproduktion – zunehmend weniger bedeutsam wird, als die des Faktors Kapital. Nachfolgend werden einzelne der genannten Aspekte analysiert und mit Blick auf besondere Herausforderungen – sowohl hinsichtlich der Risiken als auch der Chancen – diskutiert.

Agrarstrukturen und Agrarstrukturwandel: Einige stilisierte Fakten

Für Deutschland ebenso wie für die meisten Agrarregionen weltweit kann konstatiert werden, dass der überwiegende Teil der Betriebe bzw. Unternehmen weit entfernt von technisch effizienten Möglichkeiten wirtschaftet und diese angesichts der Konkurrenz auf zumeist engen Produkt- und Faktormärkten auch gar nicht erreichen kann. Das heißt, Modernisierung und Wachstum sind oft nur möglich, wenn andere Betriebe ausscheiden. Allerdings verläuft dieser Prozess träge. Obwohl sich der Wettbewerb im Bereich der Faktormärkte vor allem auf dem Bodenmarkt vollzieht, wird er maßgeblich von den Faktoren Arbeit und Kapital determiniert (BALMANN, 1995). So ist ein Ausscheiden für viele Familienbetriebe aufgrund nicht vorhandener oder wenig attraktiver Alternativen auf dem Arbeitsmarkt erst dann möglich, wenn ein Generationswechsel ansteht oder größere Reinvestitionen erforderlich sind. Hieraus lassen sich insbesondere in kleinbetrieblichen Strukturen vorzufindende funktionelle Einkommensdisparitäten mit einerseits sehr hohen Bodenpreisen und andererseits versteckter Arbeitslosigkeit erklären (BALMANN et al., 2006). Einen Erklärungshintergrund gibt hier das in den 1950er Jahren durch Glenn Johnson (JOHNSON 1956; JOHNSON und QUANCE, 1972) beschriebene Problem der „quasifixen Faktoren“, wonach sich landwirtschaftliche Produktionsfaktoren (Maschinen, Gebäude, Arbeit) bei Rentabilitätsrückgängen nur schlecht außerhalb der Landwirtschaft einsetzen lassen und somit bei Einkommensrückgängen ein Überangebot dieser Produktionsfaktoren bestehen bleibt. Im Resultat wird damit eine ruinöse Konkurrenz begünstigt, bei der Produktionsentscheidungen anhand variabler, nicht oder kaum jedoch unter Einbeziehung fixer Kosten getroffen werden. Da Investitionszyklen in der Landwirtschaft recht lang sind, entstehen langfristige Ungleichgewichte und Pfadabhängigkeiten: Einerseits wirtschaften viele Landwirte mit überholten Technologien auf tendenziell zu kleinen Betriebsgrößen, wodurch ihre Einkommenssituation unter Druck steht. Andererseits lohnen sich infolge der ruinösen Konkurrenz Investitionen in modernste Technik nur bedingt. Dementsprechend finden COELLI et al. (2006) für belgische Marktfruchtbetriebe ein nach der 1992er Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU zeitlich invariables Missverhältnis der Schattenpreise und Marktpreise für Arbeit und Boden: Die tatsächlichen Schattenpreise für Boden sind um ein Mehrfaches höher als die Pachtpreise, während die Schattenpreise für Arbeit nur einem Bruchteil der üblichen Lohnkosten entsprechen. Demzufolge leiden diese Marktfruchtbetriebe unter einer zu geringen Flächenausstattung bzw. bestehen umgekehrt Überkapazitäten beim Faktor Arbeit.

Hinsichtlich des Kapitaleinsatzes überlagern sich mehrere Effekte. Einerseits resultiert eine Faktorimmobilität daraus, dass landwirtschaftliche Investitionszyklen vor allem in der Tierproduktion recht lang sind, was dazu führen kann, dass Anlageinvestitionen sich weit vor ihrer Amortisierung als technisch veraltet erweisen. Andererseits ist die tierische Veredlung mittlerweile äußerst kapitalintensiv. So weist der Deutsche Bauernverband (DBV) im Situationsbericht 2008 für die deutsche Landwirtschaft einen Kapitaleinsatz von über 300000 Euro je Arbeitsplatz aus, doppelt so hoch wie im produzierenden Gewerbe. In modernen Schweinemastanlagen sind die Zinskosten je Stallplatz oft höher anzusetzen als die Arbeitskosten (HANFF et al.; 2008). Aus dieser Kapitalintensität lässt sich für Investitionen in moderne Stallanlagen ein enormer Bedarf an Risikokapital ableiten. Orientiert man sich daran, dass in Dänemark bereits 34% aller Mastschweine in Beständen mit mehr als 5000 Tieren

und 20% der Mastschweine in Beständen mit mehr als 10000 Mastschweinen gehalten werden (STATBANK DENMARK, 2007; DANISH SLAGETERIER, 2008), ergibt sich für zukunftsorientierte Anlagen leicht ein Finanzierungsbedarf von mehreren Millionen Euro und damit Größenordnungen, die selbst sehr große Unternehmen in den alten und neuen Bundesländern angesichts begrenzten Eigenkapitals überfordern (Tabelle 1). Vielmehr ist offensichtlich, dass unternehmensübergreifende Lösungen oder Beteiligungsfinanzierungen erforderlich sind. Noch deutlicher wird dies, wenn man die Produktionsstrukturen in den USA betrachtet, wo die zehn größten Sauenhalter mit Beständen von bis zu einer Million Sauen einen Anteil von gut 40% am Gesamtsauenbestand aufweisen (AGRICULTUREONLINE, 2008). Ähnliche Entwicklungstendenzen zeichnen sich auch in Mittel- und Osteuropa ab, wie z. B. die enormen Investitionsvorhaben von Smithfield Foods in Rumänien und Polen.

Tabelle 1

Vergleich Finanzkennzahlen im Wirtschaftsjahr 2006/2007, landwirtschaftliche Haupterwerbsbetriebe (Quelle: BMELV: Die wirtschaftliche Lage der landwirtschaftlichen Betriebe – Buchführungsergebnisse der Testbetriebe 2006/07)

	Betriebsgröße	Bilanzvermögen insgesamt	Eigenkapital	Gewinn
	EGE	€/ha LF	€/ha LF	€/Unternehmen
Insgesamt Sachsen-Anhalt	172,0	2 711	1 270	62 987
Insgesamt Sachsen-Anhalt (>100 EGE)	238,7	2 678	1 184	87 608
Insgesamt Mecklenburg-Vorpommern	178,2	2 212	629	70 773
Insgesamt Mecklenburg-Vorpommern (>100 EGE)	239,7	2 246	590	93 067
Insgesamt Baden-Württemberg	64,3	11 829	9 457	36 789
Insgesamt Baden-Württemberg (>100 EGE)	163,9	11 664	8 070	85 501
Insgesamt Niedersachsen	101,0	11 415	9 038	47 798
Insgesamt Niedersachsen (>100 EGE)	165,1	10 172	7 614	73 978
Insgesamt Deutschland	82,6	10 618	8 528	41 125

EGE = Europäische Größeneinheit, LF= landwirtschaftliche Fläche

Von derartigen Strukturen ist die Agrarproduktion in Deutschland noch weit entfernt. Zwar gibt es einen Strukturwandel, jedoch vollzieht sich dieser sehr langsam (VEAUTHIER und WINDHORST, 2008). Partiiell besteht sogar eine erhebliche Gefahr, in kleinstrukturierten Regionen den Anschluss zu verlieren, wie es die erheblichen Absatzprobleme deutscher Ferkelerzeuger im Jahr 2008 belegen (ZMP, 2008). Neben Defiziten bei den Bestandsgrößen liegen die Probleme nicht zuletzt auch im Management. Effizienzdefizite in den Unternehmen und der Produktion, wie z.B. geringe Ferkelaufzuchttraten, sind mit dafür verantwortlich, dass selbst bei größeren Betrieben in der Ferkelerzeugung erhebliche Gewinnunterschiede vorkommen. So kommt eine Auswertung der Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) für 2006 zu dem Ergebnis, dass zwischen dem besten und schlechtesten Drittel der Sauenhalter Gewinnunterschiede von fast 450 Euro je Sau und Jahr und in der Schweinemast von über 20 Euro je erzeugtem Mastschwein bestehen (LFL, 2007).

Zu den Besonderheiten landwirtschaftlicher Märkte – eine Trendumkehr? Im 20. Jahrhundert wiesen die Preisentwicklungen im Agrarsektor einen stetigen Abwärtstrend aus. Die von Willard Cochrane entwickelte Tretrmühlentheorie (COCHRANE, 1958) illustriert die Ursachen und Zusammenhänge dieser Entwicklungen: Infolge weltweiter massiver Produktivitätssteigerungen verfallen langfristig die Nahrungsmittelpreise, weil die Güter zunehmend kostengünstiger und in größeren Mengen produziert und angeboten werden können, aber parallel dazu die Nachfrage nach Agrarprodukten trotz starken Weltbevölkerungs- und Einkommenswachstums nicht im selben Umfang ansteigt. Da die Nahrungsmittelnachfrage sowohl einkommens- als auch preisunelastisch ist, waren in der Vergangenheit gesättigte Märkte und ein stetig abnehmender Einkommensanteil der Landwirtschaft am Sozialprodukt die Folge. Soweit nicht durch nationale Politiken verhindert, erhöhte sich der Einkommensdruck auf die landwirtschaftlichen Produzenten, der diese im Rahmen des Strukturwandels zu erneuten Produktivitätssteigerungen zwang, ohne allerdings der beschriebenen Tretrmühle entkommen zu können. Verbunden mit der oben genannten Immobilität der Faktoren Arbeit und Kapital führen technische Fortschritte und damit Strukturwandel zu Unsicherheit und das insbesondere bei den wirtschaftlich Schwächeren, die zugleich aufgrund der Betriebsgrößenverteilungen die Mehrzahl der Betriebe darstellen. Angesichts der jüngeren Preisentwicklungen etwa für Weizen oder Mais (Abbildung 1), könnte sich allerdings eine zunehmende Nahrungsmittelverknappung abzeichnen, in deren Folge die Preise nachhaltig steigen. Teilweise wird bereits von einer fundamentalen Trendwende auf den Agrarmärkten ausgegangen (VON WITZKE, 2007).

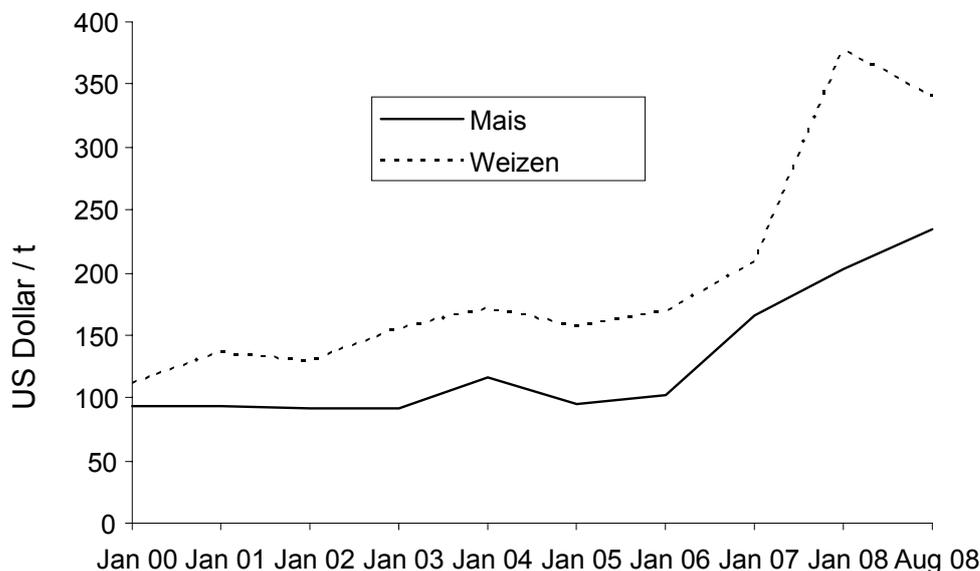


Abb. 1: Preisentwicklung Nahrungsmittel für Mais und Weizen 2000-2008, Quelle: FAO 2008

Hierfür lassen sich verschiedene Ursachen anführen. Angebotsseitig haben Missernten infolge schlechter Wetterbedingungen, ein Rückgang des Ertragsanstieges in Ostasien und Südamerika sowie unausgeschöpfte Ertrags- und Produktionspotenziale in Osteuropa und Zentralasien zu einer Verknappung geführt. Gleichzeitig erhöhte sich nachfrageseitig durch die wachsende Weltbevölkerung und die erheblichen wirtschaftlichen Wachstumsraten in vielen Schwellenländern die Nachfrage nach Nahrungsmitteln beträchtlich, insbesondere nach tierischen Produkten. Zusätzlich ist infolge hoher Ölpreise die Nachfrage nach Bioenergie drastisch gestiegen: Beinahe

60% der weltweiten Nachfragesteigerungen an Getreide und Pflanzenöle wird der wachsenden Bioenergieerzeugung zugerechnet (TANGERMANN, 2008). Da diese zu einem großen Teil durch unmittelbar als Nahrungsmittel anzusehende Anbau-biomasse gewonnen wird, ist mit einer zunehmenden Kopplung der Agrarpreise an die Energie- und Rohstoffpreise zu rechnen (ISERMEYER und ZIMMER 2006). In diesem Zusammenhang ist von besonderer Bedeutung, dass Angebot und Nachfrage nach Nahrungsmitteln kurzfristig preisunelastisch reagieren, wohingehend der Energiemarkt eine enorme Absorptionsfähigkeit besitzt. Unterhalb bestimmter Nahrungsmittel-Energiepreis-Relationen konkurriert der Energiemarkt unmittelbar um Agrarprodukte und bestimmt so Preisuntergrenzen.

Diese Zusammenhänge dürften in Verbindung mit dem Abbau der weltweiten Lagerbestände während der vergangenen Jahre und zeitweilig explodierenden Energiepreisen Anfang 2008 durch Spekulationsgeschäfte verschärft worden sein (VON BRAUN et al., 2008). Falls – und davon ist angesichts unausgeschöpfter Produktionspotenziale insbesondere in Osteuropa, Zentralasien und auch Afrika auszugehen – Energiepreissteigerungen Angebotseffekte auslösen, führen umgekehrt unerwartete Energiepreissenkungen zu hohen Preisrisiken. Hier stellt sich die Frage nach den möglichen Konsequenzen, die aus den hohen Preisen für die Landwirtschaft resultieren und wie die Landwirte darauf reagieren können. Für die Pflanzen- und Tierproduktion lassen sich unterschiedliche Vermutungen aufstellen. In der Pflanzenproduktion wird, zumindest in der Übergangsphase, Unklarheit über die Entwicklungsrichtung und Höhe der Preisschwankungen herrschen. Die hohe Volatilität erfordert von den Landwirten ein entsprechendes Risikobewusstsein und Management. Besondere Relevanz hat die Preisentwicklung in Bezug auf langfristige Entscheidungen, wie z.B. Investitionen, Finanzierung und Berufswahl. In der Tierproduktion könnten – wie Ende 2007 und Anfang 2008 zu beobachten – die schwankenden Futtermittelpreise zu einer Art Bullwhip-Effekt (FORRESTER, 1958) führen, bei dem sich Preisfluktuationen entlang der Wertschöpfungskette verstärken (Abbildung 2). Beispielsweise sind kurzfristig sowohl das Ferkel- als auch das Schweinefleischangebot infolge laufender Produktionsaktivitäten relativ unflexibel.

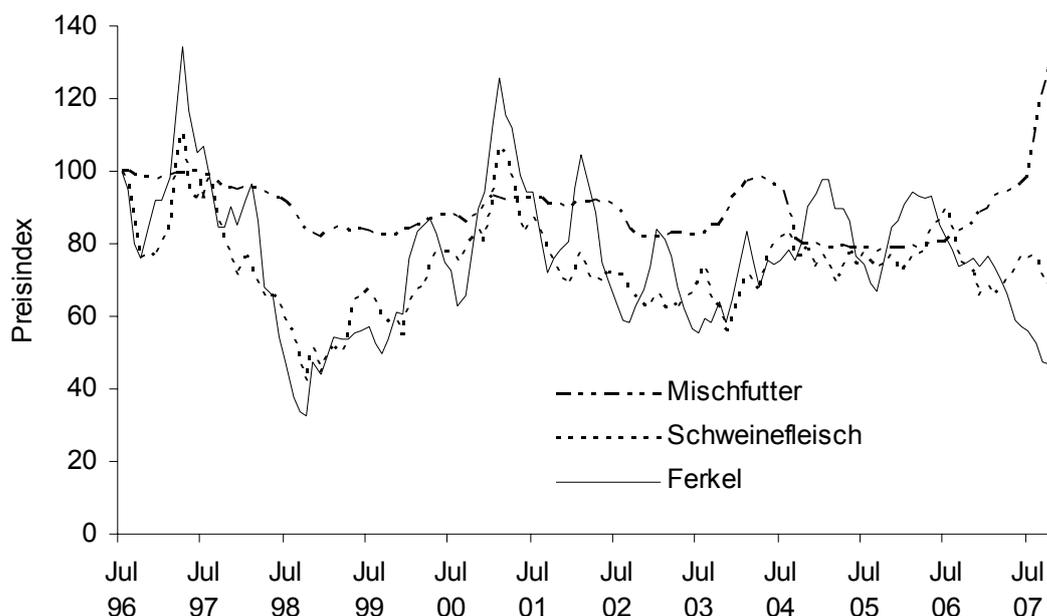


Abb. 2: Preis- und Kostenentwicklungen in der Schweinefleischerzeugung, Quelle: ZMP, eigene Berechnungen

Daher passt sich der Schweinefleischpreis nicht sofort an die veränderten Futtermittelpreise an. Allerdings lassen hohe Futterkosten eine geringere Rentabilität der Schweinemast erwarten und Mäster sind nur bereit, zu deutlich geringeren Ferkelpreisen aufzustallen. Daraus resultieren bei kurzfristig festem Ferkelangebot extrem niedrige Ferkelpreise wie in den Jahren 2007 und 2008. Mittelfristig ist jedoch davon auszugehen, dass ähnlich wie infolge der 1992er EU-Agrarreform als sich die Ferkel- und Schweinepreise den damals deutlich gesunkenen Futterkosten anpassten, nur diesmal umgekehrt eine entsprechende Erhöhung der Fleischpreise unausweichlich sein wird.

Der Wandel des Agrarstrukturwandels

Die dargestellten neueren Entwicklungen auf den Weltagarmärkten stehen in engem Wechselspiel mit einem anhaltenden Strukturwandel in der Landwirtschaft. Dieser bewegt sich allerdings zunehmend innerhalb neuer Dimensionen (BOEHLJE, 1999) und wird von veränderten externen Triebkräften gesteuert. Unter Agrarstrukturwandel wurden in der Vergangenheit vor allem die Änderungen innerhalb eines Konglomerats von Betrieben, ihrer Rechtsform, Faktorausstattung, Technologien, Aktivitäten und Interaktionen verstanden. Allerdings wird zunehmend deutlich, dass der Begriff weiter zu fassen ist. Vielmehr ist der Primärsektor einschließlich seiner Einbettung in sich ändernde landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten, eine sich ändernde Gesellschaft mit sich ändernden Konsumgewohnheiten sowie unter Einbeziehung eines Wandels der Gesamtwirtschaft, der Institutionen und Politiken zu sehen (BOEHLJE, 1999; BALMANN et al., 2006).

Ein besonderes Merkmal dieser Entwicklungen sind zunehmende Vertikalisierungs- und Konzentrationsprozesse. Mehr als ein Drittel der landwirtschaftlichen Produktion wird auch in Deutschland bereits in Verbindung mit Kontrakten produziert (SWINNEN, 2005). Begünstigt wird diese Entwicklung durch geänderte Konsumentenansprüche, die – sensibilisiert durch Lebensmittelskandale – erhöhte Anforderungen an eine umfassende Qualitätssicherung und Rückverfolgbarkeit formulieren. Hinzu kommt, dass die Nahrungsmittelunternehmen gesättigten Märkten gegenüber stehen. Beide Tendenzen haben zu einem Wandel von Verkäufermärkten hin zu Käufermärkten beigetragen. Die Kundenwünsche finden verstärkt Eingang in die Gestaltung der Produkte und in die Organisation der Wertschöpfungskette vom Landwirt bis hin zum Lebensmitteleinzelhandel. In diesem Zusammenhang ist auch die mittlerweile hohe Bedeutung von Standards (Qualität, Sicherheit, Produktionsprozess) zu verstehen, die durch die sogenannte „Supermarktrevolution“ auch in Transformations-, Schwellen- und Entwicklungsländern erhebliche Folgen für die Agrarproduktion nach sich zieht, wobei seitens der Wertschöpfungsketten private Standards definiert werden, die weit über öffentliche Standards hinausgehen (REARDON und GULATI, 2008). Hiermit verbunden sehen REARDON und GULATI (2008) erhöhte Einkommenspotenziale auf allen Stufen entlang der Wertschöpfungskette. Allerdings setzen sie zugleich erhöhte Ansprüche an die Erzeuger, wobei größere Produktionseinheiten präferiert werden.

Der hohe Konzentrationsgrad im Lebensmitteleinzelhandel fördert intensiven Wettbewerb auch auf den nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette. Letztlich konkurrieren weniger die Unternehmen als die Wertschöpfungsketten miteinander. Die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und Regionen hängt in steigendem

Maße auch von der Frage ab, ob die Integration in international ausgerichtete Wertschöpfungsketten erfolgreich verläuft. Kostensteigerungen müssen durch Ausschöpfung betriebsinterner und -externer Effizienzpotentiale und Qualitätsverbesserungen kompensiert werden. Besondere Herausforderungen liegen darin, die jeweiligen spezifischen Entwicklungshemmnisse zu überwinden. Dazu gehört, dass die Landwirte ihre eigenen Chancen und Risiken in diesem zunehmend internationalen Wettbewerb im Zusammenspiel mit den Partnern innerhalb der Kette erkennen und sich entsprechend positionieren. Ebenfalls erforderlich ist ein professionelles Risikomanagement innerhalb vertikal koordinierter Kooperationsformen, welches neben einer entsprechenden Preisgestaltung auch die Finanzierung von Investitionen beinhaltet, beispielsweise dadurch, dass sich zentrale Akteure finden, die sich um Risikokapital bemühen.

Nicht zuletzt liegt eine weitere zentrale Herausforderung darin, dass eine gesellschaftliche Akzeptanz moderner Produktionsweisen erzielt wird. Probleme liegen hierbei nicht nur in der Akzeptanz der Käufer, sondern auch darin, dass öffentliche Widerstände Genehmigungsverfahren für größere Produktionsanlagen langwierig und riskant machen. Teilweise mag dies in der Dualität der Agrarstrukturen begründet sein, die bewirkt, dass der größte Teil der Produktion durch einen kleinen Teil zunehmend größerer bzw. großer Unternehmen erfolgt, während die zumeist sehr große Anzahl kleiner und sehr kleiner Betriebe wirtschaftlich gesehen eine untergeordnete Rolle spielt. Damit geht einher, dass einerseits der durchschnittliche Produzent völlig anders produziert, als der überwiegende Teil der Produktion erfolgt. Dies beeinflusst sowohl die öffentliche Wahrnehmung als auch die Sichtweisen der Mehrheit der Landwirte selber, die in konzentrierten vertikalen Wertschöpfungsketten oft eher Probleme als Chancen sehen.

Eine erhebliche Herausforderung für die Wertschöpfungsketten dürfte darin bestehen, die Potenziale für die Regionalentwicklung, die sich aus einem erfolgreichen Agrarsektor ergeben, der Öffentlichkeit zu kommunizieren und Problembereiche zu diskutieren. Voraussetzung ist, dass Vor- und Nachteile zunächst quantifiziert werden können. Chancen können sich hier aus der Sicherung lokaler Beschäftigungsmöglichkeiten und Steueraufkommen, die Wirkung auf Handwerk und Industrie und regionale Wertschöpfungsketten ergeben. Risiken bzw. negative Effekte für Standorte und Regionen könnten sich in der Beeinträchtigung des Tourismus, nachhaltigen Umweltschäden bei Missmanagement sowie der Verminderung der Lebensqualität niederschlagen.

Ähnliche Herausforderungen ergeben sich auch aus der Biotechnologie, etwa im Bereich der GMO (Genetically Modified Organism) sowie der Biokraftstoffe der 2. Generation. Beide eröffnen zusätzliche, mitunter stark kontrovers diskutierte Perspektiven. Überlagert werden sie von den Risiken, insbesondere hervorgerufen durch den Wettbewerb aber auch durch übergeordnete Trends, die Anpassungserfordernisse definieren, etwa infolge des Klimawandels, dessen Effekte nur schwer abschätzbar sind.

Herausforderungen der Agrarpolitik

Die Diskussion um die Zukunft der Gemeinsamen EU Agrarpolitik nach 2013 hat bereits begonnen und Positionen aufgezeigt, die die bisherigen Instrumentarien auf einen fundamentalen Prüfstand stellen könnten. Innerhalb dieser anstehenden

Revision kann also – wenn nicht mit einem kompletten Abbau der Direktzahlungen nach 2013 – dann zumindest doch mit einer deutlichen Beihilfereduktion gerechnet werden. Aufgrund der unmittelbaren Einkommens-, Liquiditäts- und Vermögenswirksamkeit der Direktzahlungen für Betriebe und Bodeneigentümer, stellt sich unmittelbar die Frage nach den möglichen Auswirkungen eines Subventionsabbaus für den Strukturwandel und die betriebliche Ebene. In einem Positivszenario könnten sich durch ausbleibende Direktzahlungen zunächst die Anzahl und Geschwindigkeit der Betriebsaufgaben deutlich steigern. Infolge dieses „Marktberäuberungsprozesses“ werden den im Markt verbleibenden Akteuren zugleich verbesserte Wachstumschancen eröffnet, durch die sich Größen- bzw. Effizienzvorteile realisieren lassen könnten. Ein skeptisches Szenario ließe sich dahingehend entwickeln, dass insbesondere solche Betriebe gefährdet sein könnten, die zuvor intensiv in Wachstum und Modernisierung investiert haben. Überlagert würden damit verbundene Effizienz- und Verteilungsfragen auch durch die Frage nach möglichen Umwelteffekten, beispielsweise hinsichtlich Landschaftspflege oder Biodiversität. Ausgehend von einer Weiterentwicklung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU bis 2013 analysieren KELLERMANN et al. (2008) mittels des agentenbasierten Modells AgriPoliS für zwei ausgewählte Regionen in Deutschland (die Region Hohenlohe in Baden-Württemberg und das Sächsische Lössgebiet) die Auswirkungen der Health Check Vorschläge der Europäischen Kommission mit der Perspektive, diese einerseits nach 2013 fortzusetzen oder alternativ ab 2013 zu festen einheitlichen Direktzahlungen von 150 Euro/ha überzugehen. Die Simulationen zeigen, dass obwohl von den Health Check Vorschlägen ein deutlicher Einkommenseffekt infolge der progressiven Modulation ausgeht, die Struktureffekte mittelfristig eher gering sind (Abbildung 3). Vielmehr zeigt sich, dass die Health Check Vorschläge den Strukturwandel verlangsamen. Kleinere Betriebe verbleiben länger im Sektor und größere Betriebe würden in ihren Wachstumsmöglichkeiten eingeschränkt. Im Gegensatz dazu, würde die reduzierte Flächenprämie ab 2013 zu einem deutlich verstärkten Strukturwandel führen. Insbesondere viele kleinere Betriebe würden sehr schnell ausscheiden.

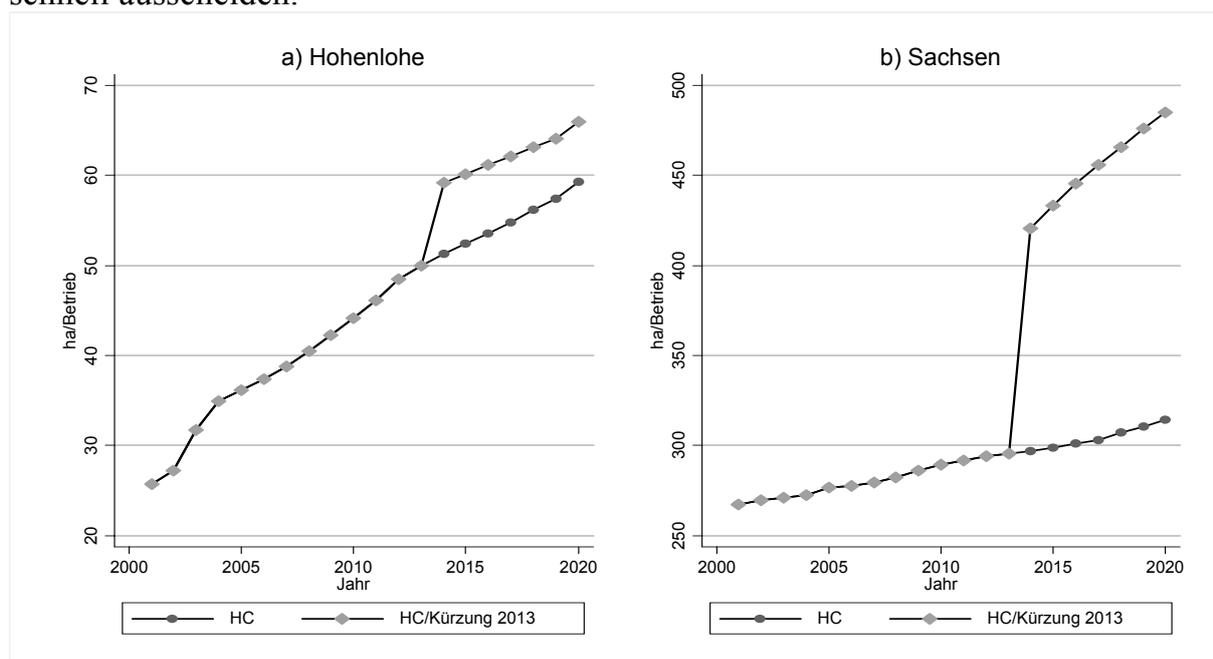


Abb. 3: Einfluss einer festen reduzierten Flächenprämie ab 2013 auf durchschnittliche Flächenausstattungen

Der beschleunigte Strukturwandel wäre vor allem darauf zurückzuführen, dass die mit den Direktzahlungen verbundenen Einnahmerückgänge zwar teilweise durch verringerte Pachtpreise aufgefangen werden, allerdings dennoch die Rentabilität zurück geht. Allerdings zeigt Abbildung 4, dass langfristig auch eine Reihe von Betrieben erfolgreich wirtschaften kann und teilweise durch den Abbau der Direktzahlungen sogar profitiert, weil es infolge des beschleunigten Strukturwandels leichter gelingt, bei niedrigeren Pachtpreisen verbesserte Wachstumsmöglichkeiten zu nutzen.

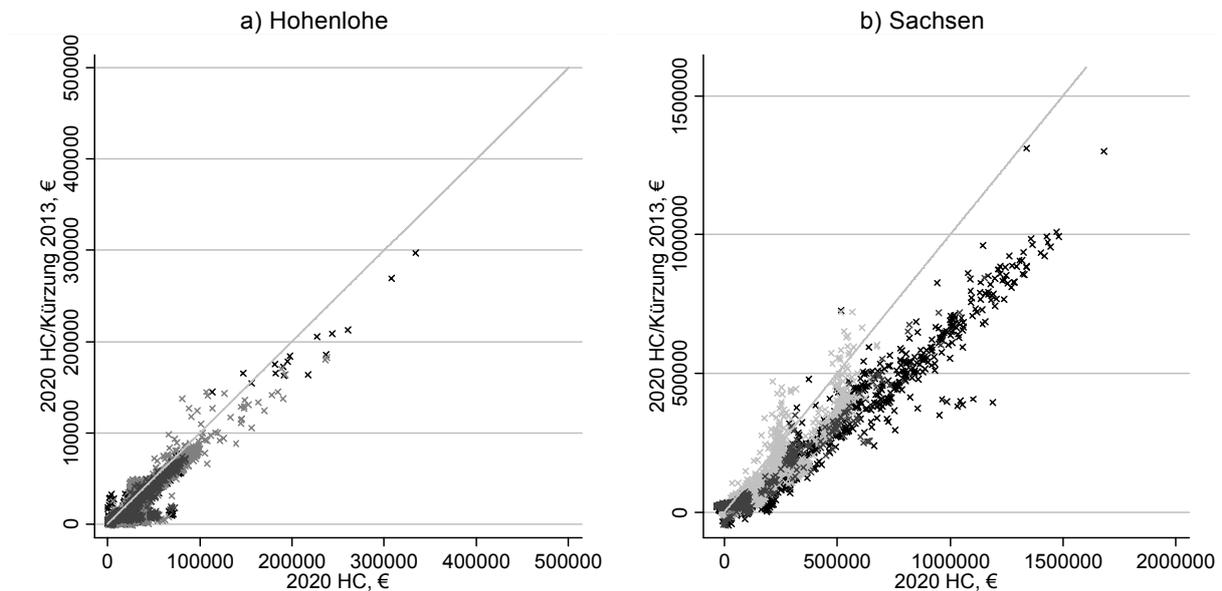


Abb. 4: Scatter plots der Einkommen bzw. Gewinne auf Unternehmensebene

Diskussion

Das Wachstum in der Landwirtschaft spielt sich zwischen sich verändernden wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen – mit wechselnder Planungssicherheit –, dynamischen Marktstrukturen, wie der Integration in Wertschöpfungsketten oder den aufkommenden Markt für nachwachsende Rohstoffe und internationalen Parallelentwicklungen ab. Um den anstehenden Herausforderungen in der Agrarproduktion zu begegnen sind seitens der landwirtschaftlichen Unternehmen Eigenverantwortlichkeit und Marktorientierung unverzichtbar. Dies beinhaltet auch das Erkennen und Umsetzen innovativer Ideen und persönlicher Stärken sowie Fähigkeiten im Management. Hinzu kommen die Notwendigkeit vorausschauender Planung und die Implementierung von Planungsinstrumenten und Risikomanagement, dass auch die Gefahr von Rückschlägen einkalkuliert. Insbesondere eine stärkere Integration in die Wertschöpfungsketten wird für die Landwirte notwendig sein, um sich den Zugang zu Innovationen, Investitionen und Märkten zu erleichtern und den Zugang zu neuen Märkten zu erschließen. Zusätzlich ist die offene gesellschaftliche Diskussion auch von kritischen Themen, wie etwa zu Akzeptanz und Umgang mit veränderten Agrarstrukturen oder Bio- und Gentechnologie und damit den Entwicklungstrends der Landwirtschaft notwendig, um gesellschaftlich akzeptierte nachhaltige und marktfähige Gestaltungsansätze zu entwickeln.

Danksagung

Die Autoren danken Konrad Kellermann und Karin Larsen für die hilfreiche Unterstützung.

Literatur

AGRICULTUREONLINE EXCLUSIVE:

Pork Powerhouses 2008, <http://www.agriculture.com/ag/pdf/08Powerhouses10.pdf>. (Zugriff: 17.09.2008)

BALMANN, A.:

Pfadabhängigkeiten im Agrarstrukturwandel. Begriff, Ursachen und Konsequenzen. Berlin (1995)

BALMANN, A.; DAUTZENBERG, K.; HAPPE, K.; KELLERMANN, K.:

On the dynamics of structural change in agriculture: Internal frictions, policy threats and vertical integration, *Outl. Agricult.* **35** (2006), 115-121

BOEHLJE, M.:

Structural changes in the agricultural industries: how do we measure, analyse and understand them? *Am. J. Agricult. Econ.* **81** (1999), 1028-1041

BMELV (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ):

Vorausschätzung der Rinder- und Schweineproduktion für 2008 – Auf Basis der Viehbestandserhebung vom 03. November 2007, http://www.bmelv.de/cln_044/nn_750584/DE/04-Landwirtschaft/Agrarmaerkte/ErgebnisseAuswertungViehbestandserhebung052007.html__nnn=true, (Zugriff: 15.09.2008)

COCHRANE, W. W.:

Farm Prices: Myth and Reality, Minneapolis (1958)

COELLI, T.; PERELMAN, S.; VAN LIERDE, D.:

CAP Reforms and Total Factor Productivity Growth in Belgian Agriculture: A Malmquist Index Approach, 2006 [mimeo] <http://purl.umh.edu/25472> (Zugriff: 17.09.2008)

DANISH SLAGTERIER:

Information und Statistik 2008. Kopenhagen (2008)

DBV (DEUTSCHER BAUERNVERBAND):

Situationsbericht 2008 – Trends und Fakten zur Landwirtschaft, Berlin (2008)

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS):

International commodity prices, <http://www.fao.org/es/esc/prices/PricesServlet.jsp?lang=en> (Zugriff: 17.09.2008)

FORRESTER, J. W.:

Industrial Dynamics. A major breakthrough for decision makers, *Harv. Business Rev.* **36** (1958), 37-66

HANFF, H.; NEUBERT G., BRUDEL, H.:

Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg – Ackerbau/Grünlandwirtschaft/Tierproduktion, Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Reihe Landwirtschaft **9** (2008) 4

ISERMEYER, F.; ZIMMER, Y.:

Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland, Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie der FAL, Braunschweig (2006)

JOHNSON, G.L.:

Supply functions: some facts and notions, in: HEADY, E.O. et al. (eds.), *Agricultural Adjustment Problems in a Growing Economy*, Ames, IA. (1956)

JOHNSON, G.L.; QUANCE, L.:

The Overproduction Trap in: *U.S. Agriculture*, Baltimore, MD (1972)

KELLERMANN, K.; SAHRBACHER, CH.; OSUCH, A.; BALMANN, A.:

Consequences of the CAP Health Check proposals in Germany: paving the way for post-2013? 2008 [mimeo]

LFL (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT):

Schweine-Report. Dresden (2006/2007)

OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT), FAO:

Agricultural Outlook 2008-2017, Paris (2008)

REARDON, T.; GULATI, A.:

The Supermarket Revolution in Developing Countries. Policies for “Competitiveness with Inclusiveness”, IFPRI Policy Brief 2, June 2008, International Food Policy Research Institute, Washington DC (2008)

STATBANK DENMARK:

Livestock by county, unit and type <http://www.statbank.dk/statbank5a/default.asp?w=1024> (Zugriff: 16.09.2008)

SWINNEN, J.F.M.:

When the market comes to you – or not. The dynamics of vertical coordination in agri-food chains in transition, Final Report of the World Bank (ECSSD) ESW on Dynamics of Vertical Coordination in ECA Agrifood Chains: Implications for Policy and Bank Operations (EW-P084034-ESWBB), World Bank, Washington, DC (2005)

TANGERMANN, S.:

Agricultural Commodity Prices: Perspectives and Policies, EuroChoices 7 (2008), 36-42

VEAUTHIER, A.; WINDHORST, H.-W.:

Organisationsformen in der Erzeugung tierischer Nahrungsmittel – Eine vergleichende Analyse zwischen Niedersachsen und seinen bedeutendsten nationalen und internationalen Wettbewerbern – ISPA, Bd. 31, Vechta (2008)

VON BRAUN, J.; AHMED A.; ASENSO-OKYERE, K.; FAN, S.; GULATI, A.; HODDINOTT, J.; PANDYA-LORCH, R.; ROSEGRANT, M.W.; RUEL, M.; TORERO, M.; VAN RHEENEN, T.; VON GREBMER, K.:
Hohe Nahrungsmittelpreise – Konzept für die Wege aus der Krise, IFPRI Policy Paper, May 2008, International Food Policy Research Institute, Washington DC (2008)

VON WITZKE, H.:

Landwirtschaft in der ökologischen Marktwirtschaft: Sicherung der Welternährung vs. Klimaschutz und Bioenergie. Working Paper des Instituts für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus, Humboldt-Universität zu Berlin, Nr. 80, Berlin (2007)

ZMP (Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH):

Strukturwandel hat sich beschleunigt, Mitteilung vom 12.08.2008, ZMP GmbH Bonn, (Zugriff: 15.09.2008)
http://www.zmp.de/agrarmarkt/vieh_fleisch/2008_08_12_Schweine_Strukturwandel.asp

Autoren:

Prof. Dr. ALFONS BALMANN*

Dr. FRANZISKA SCHAFT

Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa (IAMO)

Abteilung Betriebs- und Strukturentwicklung im ländlichen Raum

Theodor-Lieser-Straße 2

06120 Halle (Saale)

Deutschland

*korrespondierender Autor

E-Mail: balmann@iamo.de

GEORG THALLER

Perspektiven der Tierzucht im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Praxis

Abstract

Title of paper: **Prospects of animal breeding in tension between science and practice**

Animal breeding and genetics has strongly contributed to the increase of efficiency in animal production. The success has been achieved by common activities of scientific institutions and breeding practice. A major component of high genetic progress is attributable to the fact that newly generated knowledge has been rapidly integrated and intensively tested in breeding programs. This allowed to follow changing conditions for production and to satisfy the breeding goals that alter continuously for being competitive on the international market. Globalisation and changing demands in the population with respect to products as well as production systems represent new challenges in the 21st century. To face these tasks, integrative approaches have to be developed based on methods of classical animal breeding and molecular genetic knowledge. Efficiency of performance testing and especially the establishment of new traits have to be improved. The availability of large and precise phenotypic information will be a key for future progress. Statistical methods together with the use of molecular genetic information have an immense potential to implement completely new approaches for genomic selection of breeding and producing animals. Scientific animal breeding just starts these enterprises and it is demanding for breeding organizations to integrate these new concepts in innovative breeding plans. The utilization of the new knowledge and its outcome can be enhanced by upcoming in biotechnology (cloning, sperm typing, speed genetics).

Keywords: animal breeding, efficiency, biotechnology, molecular genetic

Zusammenfassung

Die Tierzucht als angewandte Wissenschaft hat in der Vergangenheit einen beträchtlichen Beitrag zur Steigerung der Effizienz in der Tierproduktion geleistet. Die erzielten Erfolge waren nur durch die gemeinsamen und abgestimmten Anstrengungen der Tierzüchtungswissenschaft und der Zuchtpraxis möglich. Eine wesentliche Komponente zur Generierung des Zuchtfortschritts war dabei, dass neue wissenschaftliche Erkenntnisse schnell in die Praxis umgesetzt und dabei kritisch geprüft wurden. Damit gelang es, den sich ständig ändernden Produktionsbedingungen und ökonomisch bzw. gesellschaftlich determinierten Zuchtzielen gerecht zu werden und international wettbewerbsfähig zu sein. Allerdings ergeben sich auf Grund der globalen Entwicklungen, rascher Änderungen in den Ansprüchen der Bevölkerung – nicht nur hinsichtlich der Produkte selbst, sondern auch wie diese Produkte erzeugt werden – neue Herausforderungen für das 21. Jahrhundert. Um dem gerecht zu werden, sind integrale Ansätze zu entwickeln, die auf dem vorhandenen Methodenschatz der klassischen Tierzucht und den vergleichsweise neuen molekulargenetischen Verfahren basieren. Es gilt, die vorhandenen Leistungsprüfungen in ihrer Effizienz und besonders hinsichtlich der Erschließung neuer Merkmale weiter zu entwickeln. Mehr als je zuvor wird der Erfolg davon abhängen, inwieweit es gelingt, präzise phänotypische Information umfassend zu erheben. Die genetisch-statistischen Methoden stellen in Verbindung mit molekulargenetischer Information aus tierzüchterischer Sicht ein enormes Potenzial dar, welches vollkommen neue Ansätze zur genomischen Selektion von Zucht- und Produktionstieren ermöglicht. Hier befindet sich die Tierzuchtwissenschaft erst am Anfang, wobei die herausfordernde Aufgabe der Tierzuchtpraxis darin besteht, diese innovativen Konzepte in neuartige Zuchtprogramme einzubringen. Die Nutzung dieser neuen genom-basierten Kenntnisse kann durch den Einsatz moderner biotechnologischer Verfahren in der Umsetzung optimiert werden.

Schlüsselwörter: Tierzucht, Effizienz, Biotechnologie, Molekulargenetik

Einleitung

Die Tierzucht, oder im Folgenden besser verstanden die Tierzüchtungslehre, beschäftigt sich mit der Auswahl überlegener Elterntiere zur Erzeugung von hinsichtlich des Zuchtzieles besseren Nachkommen. Sie versteht sich als eine angewandte Wissenschaft, die verschiedene Disziplinen wie Populationsgenetik, quantitative und molekulare Genetik sowie Erkenntnisse der Biotechnologie nutzt und integrale Konzepte zur Erreichung der Ziele entwickelt. Um dafür die Voraussetzungen zu schaffen, liegt ein wesentlicher Schwerpunkt der Tierzuchtwissenschaft auf der Aufklärung der genetischen Determination und Variation qualitativer und quantitativer Merkmale in den Nutztierpopulationen. Entsprechende Ansätze basierten bis vor 20 Jahren ausschließlich auf phänotypischen Leistungen, wobei die generierten Kenntnisse der quantitativen Genetik mit Hilfe statistischer Verfahren aufgrund von umfassenden Leistungsprüfungen in strukturierten Populationen gewonnen wurden.

Die Tierzuchtpraxis hat zum einen durch die Abstammungsaufzeichnungen und die Etablierung von effizienten Datenerfassungssystemen die Grundlagen für diese Forschungen gelegt und zum anderen die Ergebnisse weitgehend in optimierte Zuchtprogramme überführt. Die durch die Tierzucht erzielten Erfolge sind unzweifelhaft auf die fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis zurückzuführen. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor war die wechselseitig kritische Bewertung der theoretischen Ansätze und der in die praktische Arbeit umgesetzten Maßnahmen. Trotz der Verfolgung einer weitgehend gemeinsamen Zielsetzung ergeben sich vielerlei Aspekte, die in ihrer Bedeutung unterschiedlich „bewertet“ werden und ein Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Praxis erzeugen. Gerade dieses Spannungsfeld kann jedoch als die Triebfeder für innovative Verfahren und neue Ideen gesehen werden, die maßgeblich zur Steigerung des Kenntnissgewinns und der erzielten Zuchtfortschritte beigetragen haben.

Im Folgenden sollen mit Rückblick auf bestehende Verfahren neue perspektivische Ansätze zu Beginn des 21. Jahrhunderts dargelegt und kritisch hinterfragt werden. Hierbei geht es um theoretisch zu bearbeitende zukünftige Forschungsfelder sowie um Techniken und Methoden, die unmittelbar an der Schwelle zur praktischen Umsetzung stehen. Daraus lässt sich der in naher Zukunft zu erwartende Bedarf für angewandte Forschung ableiten. Gerade die letzten Jahre haben gezeigt, dass theoretische Denkansätze in Folge der rasanten Technikentwicklung innerhalb kürzester Zeit in Zuchtverfahren Anwendung fanden. Andererseits gibt es eine Reihe von Beispielen in der Tierzucht, wo hochgesteckte Erwartungen nicht annähernd die Versprechungen in der Praxis erfüllen konnten. Letztendlich erforscht die Tierzuchtwissenschaft tiefgehend die Komplexität der Vererbung und stellt darauf basierend Konzepte für die Integration in die Zuchtarbeit zur Verfügung. Die Realität der praktischen Zucht ist der wesentliche Maßstab für deren Nützlichkeit. Allerdings ist züchterisches Bemühen auch in Zeiten moderner Technologien langfristig angelegt, wodurch die Gefahr gegeben ist, dass auf aktuelle Entwicklungen zu kurzfristig reagiert wird und schneller Gewinn die nachhaltigen Zielsetzungen gefährdet. Die Intensität der Auseinandersetzung mit diesen Fragen und Problemstellungen wird auch darüber entscheiden, ob in Zukunft noch eine bäuerliche Tierzucht bei Rindern und Schweinen Bestand hat oder ob sich global eine ähnliche Situation wie in der Geflügelzucht einstellen wird.

In künftigen Zuchtzielen werden vermehrt Tierschutzaspekte und gesellschaftspolitische Problemstellungen (Versorgung Weltbevölkerung, Klimaerwärmung) zu berücksichtigen sein. Dafür ist die Tierzucht gerüstet, indem für Selektionsentscheidungen die genetischen Bewertungen der Tiere entsprechend ihrer relativen ökonomischen Gewichtung zusammengefasst werden, die sich grundsätzlich an den Produktionsbedingungen ausrichten.

Perspektiven der klassischen Tierzucht

Die wesentlichen Erfolge in der Tierzucht wurden mit den klassischen quantitativ-genetischen Methoden erzielt, obwohl das unterstellte Infinitesimalmodell nicht den biologischen Gegebenheiten entspricht. Voraussetzung für deren Anwendung sind umfassende Leistungsprüfungen, die das Rückgrat aller heutigen Zuchtprogramme bilden. Sie stellen allerdings den größten Kostenfaktor dar und konnten nur durch staatliche Unterstützung in der gegenwärtigen Breite implementiert werden. In Zukunft müssen die Leistungserfassungen von den Zuchtorganisationen getragen werden und es ist zu erwarten, dass damit massive Änderungen im Umfang und der Struktur einhergehen. Neue technische Entwicklungen werden ein hochintensives Monitoring von Einzeltieren ermöglichen. Die Herausforderung besteht darin, diese Datenvielfalt gezielt tierzüchterisch zu nutzen.

Nutzung von Daten mit geringeren Aggregationsgraden

In der Vergangenheit wurden aus erfassungstechnischen Gründen oder wegen der geringen Rechenkapazität Daten oftmals nur in aggregierter Form verwendet. Beispiele hierfür sind die Laktationsleistung der Kuh oder die Futtermittelverwertung einer Gruppe von Mastschweinen in der Leistungsprüfung. Durch eine automatisierte Datenerfassung und große Speicherkapazitäten können heute praktisch alle erhobenen Daten in der Form gespeichert werden, die für die statistische Auswertung am günstigsten ist. Ein Beispiel hierfür ist das Testtagsmodell in der Zuchtwertschätzung beim Rind. Durch die Einbeziehung des jeweiligen Kontrolltags, an dem die Leistung erbracht wurde, können spezifisch wirkende Umwelteinflüsse deutlich besser geschätzt werden als es für eine gesamte Laktationsleistung möglich ist. Dies gilt umso mehr, wenn aufgrund kontinuierlicher Abkalbungen die Laktationen zu sehr verschiedenen Zeitpunkten beginnen. Zudem ist es mit dem Random-Regression-Modell möglich, individuelle Zuchtwerte in zeitlicher Abhängigkeit zum Laktationsbeginn zu schätzen. Damit kann nicht mehr nur allein auf die Leistungshöhe sondern zugleich auf den Verlauf der Laktationskurve selektiert werden.

Obwohl die Verwendung wenig aggregierter Daten aus wissenschaftlicher Sicht meist vorteilhaft ist, ist die sinnvolle Interpretation und Verwendung in der Praxis mit zu beachten. Insbesondere muss die Robustheit der Schätzverfahren bei Modellen mit sehr vielen Parametern und nicht optimal strukturierten Daten berücksichtigt werden. Es ist nahezu immer möglich, ausgefeiltere Modellierungen der Realität vorzunehmen, die allerdings Gleichungssysteme zur Folge haben, deren Lösung an die Grenze der aktuell verfügbaren Computerkapazität heranreicht.

Es hat sich verschiedentlich gezeigt, dass die dafür eingesetzten iterativen Lösungsverfahren nicht immer unverzerrte Schätzwerte in einer annehmbaren Zeit gewährleisten.

Aus der Vielzahl von Datenpunkten müssen zudem plausible Merkmale abgeleitet werden, deren Erbllichkeit zu prüfen ist und für die wirtschaftliche Gewichte zu bestimmen sind. Letztendlich werden Einzeltiere anhand von Indizes oder Gesamtzuchtwerten selektiert, so dass eine allzu hohe Auflösung des Tieres in Einzelzuchtwerte in der praktischen Umsetzung nicht immer zielführend ist.

Einbeziehung nicht additiver Genwirkungen in Zuchtmethoden

Die Kreuzungszucht ist heute in der Schweine- und Fleischrinderzucht die Methode der Wahl, während in der Milchrinderzucht die Reinzucht mit gelegentlichem Eintrag von reinen Milchrassen in Zweinutzungsrasen vorherrscht. Das dabei erzielte hohe Niveau in den Leistungsmerkmalen basiert auf Modellen, die nahezu ausschließlich additiv genetische Effekte berücksichtigen. Allerdings ist aus vielen Untersuchungen bekannt, dass insbesondere im Fruchtbarkeitsbereich, dem Krankheitsgeschehen und bei den Wachstumsmerkmalen nicht additive Effekte eine erhebliche Rolle spielen können. Die theoretischen Grundlagen für eine Berücksichtigung von Dominanzeffekten in der Varianzkomponenten- und Zuchtwertschätzung sind in den 1990er Jahren gelegt worden. Derzeit werden entsprechende Softwarepakete entwickelt, so dass in einigen Jahren konkrete Modelle in der Schweine- und Fleischrinderzucht rechenbar werden. Die Aufgabe der angewandten Forschung ist es dann, Varianzkomponentenschätzungen durchzuführen, Zuchtwertschätzverfahren zu etablieren und Selektionsstrategien zu entwickeln. Darauf aufbauend wird es möglich sein, individuell für jedes Tier den geeigneten Paarungspartner unter Nutzung aller genetischen Effekte zu bestimmen (Expertensysteme). Für einen optimalen Einsatz dieser Ansätze sind Populationsstrukturen zu schaffen, die einen möglichst hohen Anteil an nicht additiv genetischen Effekten abgreifen können. Dies erfordert vor allem hinsichtlich der Nutzbarkeit über Generationen hinweg und möglichst geringen Einschränkungen der additiven Effekte ausgeklügelte Selektionsstrukturen, die hinsichtlich der Einführung in eine bäuerlich geprägte praktische Zucht eine enorm hohe Herausforderung darstellen. Gerade bezüglich dieser Problematik können durch innovative Ansätze, die auf dem umfassenden molekulargenetischen Wissen beruhen, in Zukunft zusätzliche Potenziale für die Generierung von Zuchtfortschritt geschaffen werden.

Die reine Kreuzungszucht im Sinne der Erzeugung definierter Endprodukte, die nicht weiter als Zuchttiere Verwendung finden, ist durch die geringe Reproduktionsrate beim Rind beschränkt. In einzelnen Fällen werden aufgrund günstiger Vermarktungsgegebenheiten (z.B. Braunvieh) zu einem gewissen Umfang Gebrauchskreuzungen durchgeführt (GOSSNER et al., 2003). Hierbei besteht jedoch die Gefahr, dass in Ermangelung genau geschätzter Zuchtwerte auch genetisch wertvolle Muttertiere eingesetzt werden und die Zuchtbasis der reinen Rasse geschmälert wird. Punktuell werden weltweit Rotationskreuzungen in großen Produktionsbetrieben durchgeführt und zusätzliche Verbesserungen durch Nutzung der Heterosis erzielt. Für den langfristigen Erfolg ist entscheidend, dass die jeweils reinen Populationen der Väterassen in einer Größe erhalten bleiben, die den Zuchtfortschritt in der Reinzucht gewährleisten. Im Weiteren gilt es zu berücksichtigen, inwieweit Rekombinationsverluste in späteren Generationen die Vorteile durch die Heterosis aufzehren. Es ist die Aufgabe der Wissenschaft, diese Sachverhalte abzuklären, wobei wiederum spezifisch molekulargenetisches Wissen helfen wird, den komplexen genetischen Phänomenen auf den Grund zu gehen.

Erschließung neuer Merkmale

Die heutigen Leistungsprüfungen erfassen Merkmale, die eine augenfällige wirtschaftliche Bedeutung haben und die mit vertretbarem Aufwand messbar sind. Merkmale, deren Nutzen nicht unmittelbar erkennbar ist, wie z.B. Nutzungsdauer oder Gesundheit, werden züchterisch noch nicht konsequent bearbeitet. Dies gilt insbesondere auch deshalb, weil z.B. bei Gesundheitsmerkmalen ein sinnvolles Erfassungssystem fehlt. Die Erfahrungen in den skandinavischen Ländern zeigen aber, dass solche Merkmale durchaus züchterische Erfolge zeigen können. Das Gewicht in der Zuchtarbeit wird in der Zukunft vor allem auf funktionalen Merkmalen im weiter gefassten Sinn liegen. Darunter fallen auch Merkmale, deren wirtschaftliche Relevanz sich aus dem Produktionssystem (Stickstoffeffizienz) oder gesellschaftspolitischen Zielsetzungen (Tierschutz, Klimarelevanz) ergibt.

Grundvoraussetzung für züchterische Ansätze ist die Verfügbarkeit tierindividueller Information für die zu bearbeitenden Merkmale und Merkmalskomplexe. Je nach Spezifikation des Merkmals und der technischen Anforderung der Erfassung werden Leistungsprüfsysteme auf unterschiedlichen Ebenen zu implementieren sein.

Bereits regelmäßig erhobene und im Feld verfügbare Informationen müssen in großflächigen Datenverbänden zusammengefasst werden. Es stellt eine Herausforderung für die Zuchtpraxis dar, den Zugang zu den vielfältig (z.B. von Tierärzten) verfügbaren Informationen sicher zu stellen und definierte Erfassungsschlüssel einzuführen. Für Massendaten aus betriebsspezifischen Managementsystemen (z.B. tägliche Milchmengen, Zellzahlen, Gewichte) müssen adäquate datentechnische Voraussetzungen für eine Übertragbarkeit und Standardisierung gegeben sein. Dies muss ohne stärkere Beeinträchtigung der Arbeitsabläufe im landwirtschaftlichen Betrieb ermöglicht werden.

Die Erhebung detaillierter Einzeltierdaten, die einen vergleichsweise hohen technischen Aufwand erfordern, wird sich auf Testherden konzentrieren, in denen vorwiegend Zuchttiere aus dem Nukleus geprüft werden. Hier gilt es, aussagekräftige Parameter für funktionale Merkmale wie Futteraufnahme, Energiebilanzen oder videobasierte Wachstumsentwicklungen mit einer möglichst hohen Erblichkeit zu erhalten. Eine optimierte Auslastung und Kurzzeitprüfung zur Erhöhung des Datenumfangs sind wichtige Voraussetzungen für den Erfolg dieser Prüfverfahren. Besonders zu beachten ist die Abstimmung der Prüfung auf die jeweiligen Zuchtverfahren. Gerade die später diskutierte genomische Selektion wird hier zu strukturellen Änderungen führen, indem nicht mehr Nachkommen zur Bewertung von Einzeltieren sondern vielmehr eine optimale Tierausswahl zur Bewertung selektionseffizienter Haplotypen im Vordergrund stehen.

Bei einer noch höheren Komplexität der Merkmalerfassung, wie z.B. bakteriologische Untersuchungen im Zusammenhang mit Mastitis, der detaillierten Aufklärung des Fruchtbarkeitsgeschehens im interaktiven Zusammenwirken von Mutter und Nachkommen oder der ganzheitlichen Erfassung von Stoffwechselfvorgängen mit Hilfe innovativer metabolischer Meßmethoden, ist es nicht mehr möglich, kontinuierlich phänotypische Informationen für die genetische Bewertung von Einzeltieren im klassischen Sinn oder für die genomische Zuchtwertschätzung bereitzustellen. Vielmehr müssen klar angelegte und definierte Versuche für nachfolgende molekular-genetische Untersuchungen durchgeführt werden mit dem Ziel, genetische Varianten möglichst direkt zu bestimmen und der Zuchtpraxis zur Verfügung zu stellen.

In diesem Zusammenhang laufen bereits FUGATO (MASnet, FertiLink) und FUGATO-plus Projekte (Remedy, Mega-M), in denen die Wissenschaft und die Zuchtpraxis vorbildlich und zukunftsweisend kooperieren.

Spezialisierung von Zuchtprodukten auf bestimmte Produktionsumwelten

Die notwendigerweise straffe Organisation von komplex angelegten Kreuzungszuchtprogrammen beim Schwein und beim Geflügel hat dazu geführt, dass sich die Selektion in Nukleusbetrieben abspielt und Leistungsprüfungen in assoziierten Betrieben durchgeführt werden. Faktisch sind Zucht und Produktion vollkommen voneinander getrennt, wobei die Zuchtorganisationen natürlich bestrebt sind – nicht zuletzt durch direkte Konkurrenz – den Erzeugerbetrieben hinsichtlich des Zuchtzieles optimierte Tiere zur Verfügung zu stellen. Damit stellt sich die uralte Frage nach der Bedeutung von Genotyp-Umwelt-Interaktionen (GUI). Ohne Zweifel spielen diese bei der Ausprägung von Leistungseigenschaften eine Rolle, und Zuchtunternehmen berichten vermehrt, dass die Rangierungen von Zuchttieren, die auf höchstem Niveau geprüft wurden sich unter suboptimalen Praxisbedingungen nicht widerspiegeln. Bislang waren Genotyp \times Umwelt-Interaktionen kaum zu ermitteln, allerdings bieten sich neue Möglichkeiten durch Nutzung von Biotechnologien oder innovativen statistischen Verfahren an. Zum einen wird es in absehbarer Zeit Klone geben, anhand derer verschiedene Umwelten mit den gleichen Genotypen getestet werden können. Zum anderen werden derzeit so genannte „reaction norm“ Modelle entwickelt, bei denen die Zuchtwerte in Abhängigkeit geeigneter Parameter für die jeweiligen Produktionsumwelten dargestellt werden können (WU et al., 2007). Dies kann sinnvoll ergänzt werden durch differentielle Genexpressionsstudien und die sich daraus ergebende Identifizierung von Kandidatengen, die an der Anpassung verschiedener Umwelten beteiligt sind. Die Aufgabe der angewandten Forschung liegt darin, aus diesen Erkenntnissen praxisreife Verfahren zu entwickeln. Wiederum ist die Verfügbarkeit ausreichender und präzise erfasster Kennzahlen der Leistungsmerkmale als auch die für Indikatoren der Produktionsbedingungen von entscheidender Bedeutung.

Bei besserem Verständnis der GUI könnte man Zuchtwerte für Individuen innerhalb einer Population für bestimmte Produktionsrichtungen oder Umweltverhältnisse schätzen und damit die Effizienz verbessern sowie zugleich die genetische Vielfalt erhalten.

Perspektiven der molekulargenetischen Methoden

Die Molekulargenetik ist zweifellos die Disziplin innerhalb der Tierzuchtwissenschaften, welche sich in den letzten 20 Jahren am rasantesten entwickelt hat. Anfangs standen vergleichsweise nur wenige Marker für die Aufklärung genetischer Phänomene zur Verfügung, heute erlauben neue Genotypisierungstechniken die kostengünstige Generierung von tausenden SNP-Markern und in nicht allzu ferner Zukunft werden die Sequenzen von Zuchttieren bekannt sein. Die Herausforderung wird es sein, diese ungeheure Informationsvielfalt in tierzüchterisch relevante Erkenntnisse umzusetzen. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen sind weder im zeitlichen Ablauf noch im Umfang absehbar, es werden aber mit Sicherheit gravierende Umwälzungen in der Zuchtpraxis mit der Nutzung dieses Wissens einhergehen.

Das Gebiet der Molekulargenetik kann unter Einbeziehung aller Vorgänge, die letztendlich zum Phänotyp führen, sehr weit gefasst werden. Neben der „Genomics“ etablieren sich dementsprechend neue Forschungsfelder wie „Transcriptomics“, „Proteomics“ und „Metabolomics“.

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich vor allem auf die genomische Ebene, auf die schließlich alles abzubilden ist, was im Sinne der Vererbung von einer zur nächsten Generation übertragen wird. Hinsichtlich der Praxis gilt es zu beachten, dass Fortschritte und bahnbrechende neue Erkenntnisse in immer kürzeren Zeitabständen auftreten. Dabei können aufeinanderfolgende Neuerungen jeweils logistische Anforderungen und strukturelle Änderungen nach sich ziehen, die für ihre Implementierung neben den Kosten auch Zeit beanspruchen. Es wird daher für die Verantwortlichen in Zuchtorganisationen immer schwieriger, die richtigen Entscheidungen zu treffen und in ihren Auswirkungen zu vertreten. Es liegt in der Natur der Zucht, dass die Erfolge erst zu späteren Zeitpunkten sichtbar und für den Tierhalter spürbar werden. Daraus hat sich ein positiver Konservatismus entwickelt, der die jeweiligen Innovationen kritisch verfolgt und längerfristig angelegt einordnet. Für die Akzeptanz neuer Zuchtverfahren in bäuerlichen Systemen ist von entscheidender Bedeutung, ob diese in der Breite Fuß fassen. Dies gilt vor allem für komplexe Methoden und Ansätze der Molekulargenetik, die für die Praxis nur schwer nachzuvollziehen sind. Objektiv messbare und darstellbare Verbesserungen verursachen zwangsweise z.T. auch gravierende Änderungen z.B. von TOP-Listen bei Besamungsbullen. Es ist auch eine Aufgabe der Tierzucht, als angewandte Wissenschaft, die Implementierung neuer Methoden zu begleiten, genauso wie es die Aufgabe der Zuchtorganisationen ist, entsprechende Fachkompetenzen zu erwerben.

Beschreibung genetischer Variation auf DNA-Ebene

Das primäre Ziel der Tierzuchtwissenschaft besteht darin, die genetische Determination von im Wesentlichen wirtschaftlich interessanten Merkmalen in Nutztierpopulationen auf der Ebene der Erbsubstanz zu erforschen. Die Architektur der genetischen Variation ist bis dahin im Detail nicht bekannt. Bis auf wenige Ausnahmen, wie z.B. bei monogen bedingten Erbfehlern, sind mehrere Gene bei der Ausprägung des Phänotyps beteiligt, die in mannigfacher Weise unterschiedlich exprimiert werden und miteinander interagieren können. Erste umfassende Ansätze, Genomregionen mit Wirkung auf Leistungsmerkmale mit Hilfe von Markern zu identifizieren, wurden beim Schwein 1994 von ANDERSSON et al. anhand einer definierten Kreuzungspopulation und beim Milchrind 1995 von GEORGES et al. anhand bestehender Halbgeschwisterstrukturen durchgeführt. Eine Vielzahl von Folgestudien in verschiedenen Rassen und Populationen ermöglichen einen groben Überblick über die Verteilung der so genannten Quantitative Trait Loci (QTL) bezüglich Größe, ihrer Wirkung und chromosomaler Positionen. Zusammenfassende Darstellungen finden sich bei KAHKTAR et al. (2004) und HAYES und GODDARD (2001). Über Feinkartierungsansätze gelang es in einigen Fällen die Position der möglicherweise kausalen Gene weiter einzugrenzen und diese im Idealfall direkt zu bestimmen, wie die Beispiele DGAT1 (GRISART et al., 2002; WINTER et al., 2002) oder der Wachstumshormonrezeptor (BLOTT et al., 2003) beim Rind zeigen.

Mittlerweile liegt die Sequenz des Rindengenoms weitgehend vor und im Zusammenhang mit massiven chipbasierten SNP-Markern sind genomweite

Assoziationsstudien angedacht, um in einem ersten Schritt die kausalen Gene über Kopplungsungleichgewichte zu SNP zu erfassen und dann die kausalen Gene und deren Varianten zu identifizieren. Die Anforderungen für erfolgreiche Untersuchungen sind enorm und bedingen neben der genotypischen Information vor allem verlässliche Phänotypen im großen Umfang. Es lässt sich nicht absehen in welchem Zeithorizont diese Ansätze zu nutzbaren Ergebnissen führen. Aus perspektivischer Sicht ist aber davon auszugehen, dass ein Großteil der quantitativ genetischen Variation vieler Merkmale auf klar definierten DNA-Abschnitten abgebildet sein wird. Dies wird in erster Linie die additiv genetische Komponente betreffen, die bereits in der klassischen Tierzucht am intensivsten genutzt wird. Die ultimative Herausforderung bezieht sich vor allem auf die Aufklärung dominanter und epistatischer Beziehungen innerhalb des Genoms. Die dabei begrenzenden Faktoren werden weniger die statistisch genetischen Methoden und die benötigten Rechenkapazitäten als vielmehr die hohe Anzahl an gut phänotypisierten Tieren sein. Ein eindrucksvolles Beispiel für den hohen möglichen Beitrag der Epistasie hat kürzlich CARLBORG et al. (2007) geliefert. Weitere Phänomene, die in Zukunft intensiver erforscht werden, sind das Imprinting und epigenetische Effekte. Mit dem zunehmenden Wissen der genomischen Zusammenhänge ergeben sich neue Fragestellungen und Forschungsfelder, wie die DNA-Information abgelesen und in verschiedenen Schritten in die messbaren Leistungsmerkmale übersetzt wird. Die entsprechenden Wissensgebiete sind äußerst faszinierend und können helfen, z.B. Interaktionen innerhalb des Genoms besser zu verstehen. Allerdings muss immer darauf geachtet werden, dass nur auf die DNA-Ebene abbildbare Zusammenhänge im Sinne der Vererbung und Weitergabe genetischer Information über Generationen tierzüchterisch relevant sind.

Vom phänotypbasierten zum genombasierten Zuchtwert

Die Erfolge der Tierzucht und Steigerungen im Zuchtfortschritt gründen maßgeblich auf der Tatsache, dass die genetische Veranlagung bzw. der züchterische Wert von zu selektierenden Einzeltieren immer präziser geschätzt werden konnte. Dies gewährleisteten komplizierte Rechenverfahren in Verbindung mit populationsweiten Leistungsprüfsystemen und Abstammungsaufzeichnungen. Neben dieser operationellen Vorgehensweise zeichneten sich mit den Erkenntnissen der Molekulargenetik Wege ab, genom-basierte Informationen in Zuchtwertschätzverfahren zu integrieren. Erste Ansätze, gekoppelte Marker in BLUP-Gleichungssysteme zu integrieren, gehen auf FERNANDO und GROSSMANN (1989) zurück. Diese Überlegungen wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen aufgegriffen und für weniger ideale Bedingungen und realistische Annahmen hinsichtlich der verfügbaren Datenstrukturen modifiziert (NEUNER et al., 2008). Ein konsequenter Schritt hin zur „theoretischen“ Definition des Zuchtwerts als die Summe der Durchschnittseffekte aller an der Merkmalsausprägung beteiligten Allele eines Individuums wurde von MEUWISSEN et al. (2001) vorgeschlagen. Die Grundidee der „genomischen Selektion“ besteht darin, in Ermangelung der Kenntnis aller kausalen Genvarianten genomweit Kopplungsungleichgewichte zu sehr dicht angeordneten Markern zu nutzen. Unmittelbare und geradezu dramatische Bedeutung erlangte dieser Ansatz mit der Verfügbarkeit von SNP-Chips mit mehr als 50000 Markern und der Entwicklung effizienter und kostengünstiger Typisierungstechnologien. Gegenwärtig laufen weltweit intensive

Studien, mit welchem methodische Verfahren und Datenstrukturen genomische Zuchtwerte mit der größten Genauigkeit geschätzt werden können. In naher Zukunft werden sich die Anzahlen an SNP-Markern auf den Chips deutlich erhöhen und auch Chips mit ausgewählten Markern zu sehr günstigen Preisen auf dem Markt sein. Es soll hier aber auch betont werden, dass diese Methode nur praktizierbar ist, wenn möglichst genau geschätzte und verlässliche phänotypbasierte Zuchtwerte für die „Kalibrierung“ des SNP-Satzes zur Verfügung stehen. Dies unterstreicht die bereits diskutierte Notwendigkeit adäquater Leistungsprüfungen, die jedoch hinsichtlich der spezifischen Zuchtwertschätzverfahren modifiziert und optimiert werden müssen. In den nächsten Jahren werden die genomischen Zuchtwerte weiter verfeinert werden und in Zukunft der theoretischen Definition sehr nahe kommen. Dazu werden neben den hinsichtlich der Kopplungsungleichgewichte zu kausalen Varianten kontinuierlich optimierten SNP die laufend gefundenen kausalen Varianten aus definierten Genomanalysenstudien direkt – sofern diese über SNP-Varianten darstellbar sind – oder über SNP-Marker mit einem hohen Kopplungsungleichgewicht, z.B. bei VNTR-Polymorphismen, in aktualisierte Chips aufgenommen werden. Selbst wenn es gelingen sollte, nahezu alle kausalen Varianten einer Population direkt oder über nahezu perfekte Kopplungsungleichgewichte auf SNP-Chips zu bringen und Sicherheiten von nahe 100% zu erreichen, bleibt die populationsgenetisch bedingte Dynamik von Zuchtwerten erhalten. In Abhängigkeit von den Effekten der kausalen Allele werden sich durch die Selektion über die Generationen an diesen Allelfrequenzänderungen einstellen, die sich unmittelbar auf die Durchschnittseffekte der Allele und damit wiederum auf den genomischen Zuchtwert auswirken. Aus den Kenntnissen der Durchschnittseffekte und den entsprechenden Allelfrequenzen der jeweiligen Varianten lassen sich dann Zuchtwerte von Tieren für jede Population direkt ableiten.

Derzeit ist es wichtig, dass die Infrastruktur für die DNA-Lagerung und Typisierungsdaten sinnvoll eingerichtet wird. Auf dem Markt befinden sich konkurrierende genomweite SNP-Chips und für spezifischere Anwendungen bzw. in Forschungsprojekten können wiederum andere Subsets Verwendung finden. Es ist die Herausforderung der Zuchtpraxis, sich so weit als möglich – und dies gilt auch über Ländergrenzen hinweg – auf einheitliche Systeme zu verständigen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist eine weltweit zentrale, internetbasierte und öffentliche SNP-Datenbank, in der alle typisierten Tiere enthalten sind, zu fordern. Damit wäre auch für die Praxis die maximale Transparenz gegeben und alle Möglichkeiten für die Darstellung genomischer Zuchtwerte offen.

Nutzung molekulargenetischer Informationen in Zuchtprogrammen

Es wird die Herausforderung der Tierzucht als angewandter Wissenschaft und der Zuchtpraxis sein, die sich ständig weiterentwickelnden molekulargenetischen Erkenntnisse in Zuchtprogramme zu integrieren und die erforderliche Logistik bereit zu stellen. Grundsätzlich ist zwischen der Verbesserung bestehender Zuchtverfahren durch genauere Informationen und qualitativ neuartige Strategien, die in der klassischen Tierzucht nicht möglich waren, zu unterscheiden. Für die praktische Umsetzung wird auch entscheidend sein, inwieweit traditionelle Anforderungen und Vorgehensweisen weiter Bestand haben werden oder in der Züchterschaft die Bereitschaft für z. T. auch durchgreifende Neuerungen vorhanden ist.

So haben die bisherigen MA-BLUP Zuchtwerte unzweifelhaft höhere Genauigkeiten vor allem für junge Tiere, aber eine zu geringe Genauigkeit, um sie für eine definitive Selektionsentscheidung zwischen Testbullen einer Kohorte nutzen zu können. Obwohl gezeigt werden kann, dass eine konsequente Nutzung der MA-BLUP Zuchtwerte in der Vorselektion der Kandidaten zu einer Steigerung des Zuchtfortschritts führt, wurde zumindest in Deutschland von dieser Möglichkeit kaum Gebrauch gemacht. Derzeit ist die große Frage, wie die augenblicklich geschätzten genomischen Zuchtwerte auf Grund ihrer höheren Genauigkeit in Zuchtprogrammen Verwendung finden können. Vorsichtige Ansätze beruhen auf einer starken Vorselektion erweiterter Testkandidatengruppen und einer nachfolgenden Nachkommenprüfung der selektierten Bullen. Diese werden bis zur Feststellung ihres phänotypbasierten Zuchtwertes bereits stärker eingesetzt, als dies bisher der Fall ist. Als zusätzlicher Effekt können damit genauere Zuchtwerte für funktionale Merkmale geschätzt werden, die wiederum zur Verbesserung der Schätzgenauigkeit der genomischen Selektion beitragen.

Mittel- bis langfristig werden genomische Zuchtwerte für alle wirtschaftlich relevanten Merkmale mit einer Genauigkeit vorliegen, die keine weitere oder zusätzliche Testung von Tieren zur Zuchtwahl erfordert. In etwas weiterer Ferne, aber nicht mehr im Bereich der Unmöglichkeit, liegt der Einsatz ultimativer Chips auf populationsweiter Basis. Neben kostengünstiger Typisierung sind vor allem preiswerte logistische Systeme zur DNA-Gewinnung im Feld dafür notwendige Voraussetzungen. Durch die Einbeziehung von Dominanz und in begrenztem Umfang auch epistatischer Effekte können dann die Genotypwerte von Einzeltieren zum Zwecke der Remontierung verwendet werden. Im Extremfall wäre es dann möglich, Embryonen hinsichtlich ihrer gesamten genetischen Veranlagung zu testen und nur die besten in Empfängertiere zu transferieren. Die Kosten-Nutzen-Relationen werden in der praktischen Zucht ausschlaggebend sein, inwieweit solche Verfahren Anwendung finden.

Bei weitgehender Kenntnis aller maßgeblichen Genvarianten in unterschiedlichen Populationen bieten sich komplett neue Möglichkeiten der gezielten Introgression spezifischer Eigenschaften (z. B. Krankheitsresistenz) aus fremden Rassen.

Technikfolgenabschätzung und Management der genetischen Vielfalt

Die Nutzung molekulargenetischer Informationen kann eine enorme Beschleunigung der Fixierung bestimmter Allele bewirken. Dies bedingt einerseits die Gefahr des unwiederbringlichen Verlustes dieser Allele, eröffnet aber andererseits auch die Möglichkeit, die verdrängten Allele vor der Fixierung *in vivo* gezielt zu konservieren. Vor allem bei eng gekoppelten und für unterschiedliche Merkmalskomplexe interessanten Genen und dabei in der Regel bestehenden Kopplungsungleichgewichten ist darauf zu achten, dass die Selektionspotentiale nicht zu einseitig verschoben werden. In der heutigen internationalen Wettbewerbssituation und immer schnelleren Änderungen im Zuchtziel ist auch auf eine möglichst hohe Flexibilität zu achten. Deshalb muss die Nutzung der Ergebnisse der Genomanalyse unbedingt durch eine konsequente Begleitforschung überwacht werden. Diese Begleitforschung stellt zudem eine vertrauensbildende Maßnahme im Verhältnis von Tierzüchtern und Verbrauchern dar, um die Akzeptanz der neuen Verfahren zu fördern.

Der Einsatz effizienter Verfahren für die Steigerung des Zuchtfortschrittes erhöht auch immer die Gefahr des Verlustes an genetischer Variabilität. Neue Ansätze unter Nutzung genetischer Informationen ermöglichen eine gezielte Konservierung einer möglichst hohen genetischen Variabilität innerhalb und über Populationen hinweg. Das Management der zu erhaltenden Ressourcen – auch rasseübergreifend – ist eine typische Aufgabe für die angewandte Forschung an einer neutralen staatlichen Stelle. Idealerweise kommen dafür internationale Organisationen in Frage, um Kontinuität, Neutralität und den Blick über den regionalen Kontext hinaus zu gewährleisten.

Erbfehlermanagement

Die Anzahl bekannter und molekulargenetisch diagnostizierbarer Erbfehler nimmt laufend zu (<http://www.angis.org.au/omia>). Dies ermöglicht zum einen die Identifizierung heterozygoter Träger für ein breites Spektrum an Erbfehlern und bietet somit die grundsätzliche Möglichkeit des Ausschlusses dieser Elterntiere vom Zuchtgeschehen. Auf der anderen Seite wird es mit zunehmender Entdeckung von Erbfehlern immer unwahrscheinlicher, erbfehlerfreie Zuchttiere zu finden.

Die besondere Problematik liegt dabei auf der starken Vermehrungsrate von Vatertieren durch biotechnische oder organisatorische Maßnahmen (Frischsperma). Wie die Erbfehler Spinnengliedrigkeit, Weaver oder CMV zeigen, ergeben sich enorme Verluste in Populationen, wenn KB-Vatertiere Träger von Erbfehlern sind. Bislang bestand die Strategie lediglich aus der Eliminierung von bekannten Trägern. Dies wird jedoch weder der unterschiedlichen Schwere einzelner Erbfehler (z.B. Brüche vs. afterlose Ferkel beim Schwein) gerecht noch dem Gesamtzuchtwert des Vatertieres. Es ist auch ob der Tatsache, dass nahezu alle Tiere Träger eines Defektes sind, nicht mehr möglich. Hierzu müssen von der angewandten Forschung Konzepte entwickelt werden, die die Häufigkeit und Schwere des Defektes, den Zuchtwert des Tieres und die Möglichkeiten des Screenings von Paarungspartnern und Nachkommen in ihren Konsequenzen für die Zucht optimal berücksichtigen. In dieser Hinsicht werden ebenfalls genomorientierte Anpaarungen bei Verfügbarkeit von SNP-Markern aller Zuchttiere innovative Lösungsansätze ermöglichen.

Schnittstellen und assoziierte Techniken

Neben den oben im streng tierzüchterischen Sinne dargelegten Kernbereichen gibt es eine Reihe von peripheren Bereichen, die in starker Entwicklung begriffen sind und in Zukunft einen erheblichen Einfluss auf die Zuchtarbeit haben werden. Die derzeit stark in der Diskussion stehenden Arbeitsgebiete werden im Folgenden kurz inhaltlich vorgestellt und mögliche Anwendungsgebiete beschrieben.

Klonierung

Die Klonierung eröffnet züchterisch keine direkten Perspektiven. Klone sind Wiederholungen bereits existierender Genotypen und *per definitionem* nicht weiterentwicklungsfähig. Sie ermöglicht aber vermarktungstechnisch durchaus interessante Perspektiven. Klar definierte Produkte verschiedener Klone könnten zur Differenzierung des homogenen Marktes für tierische Erzeugnisse führen und die Homogenität innerhalb von Klonen könnte die Attraktivität für die abnehmende Hand und somit den Preis erhöhen.

Die Folgen einer routinemäßigen Klonierung aus somatischen Zellen würden sich aber auch auf die züchterischen Strukturen enorm auswirken. Die Multiplikation überlegener Tiere würde die herkömmliche Besamung stark einschränken, Zuchtstufen würden drastisch verkleinert und ineinander überführt. Die Bedeutung würde zudem stark steigen, wenn die genetische Bewertung der Klone in Form genomischer Information erfolgen könnte. Hinsichtlich langfristig angelegter Zuchtprogramme wären Konzepte zu entwickeln, die gleichzeitig in der Nukleuszucht einen kontinuierlichen Zuchtfortschritt sicherstellen und genetische Verbesserungen hinsichtlich modifizierter Zuchtziele gewährleisten. Die Anforderungen an die Konservierung genetischen Materials werden demgegenüber immens ansteigen. Eine Situation, in der „Monokulturen“ von Klonen zu Produktionszwecken gehalten werden ist nach heutigem Kenntnisstand nicht wünschenswert. Forschungsbedarf ergibt sich hier vor allem in der Optimierung der Herdenzusammensetzung aus einer begrenzten Anzahl unterschiedlicher Genotypen und natürlich auf dem Gebiet der züchterischen Weiterentwicklung, d. h. in der Suche nach besseren Klonen.

Sperma-Sexing

Der Einsatz gesexten Spermas hat bereits begonnen und es ist zu erwarten, dass die aktuellen Schwierigkeiten wie eine deutlich geringere Fruchtbarkeit vor allem bei Kühen in höheren Laktationen in absehbarer Zeit behoben sein werden. Damit lassen sich durch den Einsatz „weiblichen“ Spermas zum einen höhere Selektionsintensitäten vor allem auf den Pfaden der Bullenmütter und den Kuhmüttern realisieren aber auch mit Hilfe des „männlichen“ Spermas höhere Zusatzerlöse bei Gebrauchskreuzungen erzielen. Je nach Erfolgsrate und Inseminationstechnik können einzelne Vatertiere noch stärker als bisher möglich zur nächsten Nachkommen- generation beitragen und die Problematik der genetischen Verengung weiter verschärfen. Wiederum sind genomische Informationen äußerst hilfreich, um integral ein Optimum an Zuchtfortschritt unter Beibehaltung der genetischen Variation zu generieren.

Weit in die Zukunft geblickt, würde sich ein immenses tierzüchterisches Potenzial abzeichnen, wenn es möglich wäre, Spermien nach deren allelischer Konstitution als Gesamthaplotyp zu sortieren und über Einzelspermienbefruchtung Nachkommen zu erzeugen. Damit könnte die über Rekombination erzeugte enorme Variation zwischen Millionen von Spermien genutzt und detaillierter als jemals denkbar Nachkommen mit den wünschenswerten Erbanlagen gezeugt werden.

Gentechnische Modifikation tierischer Produkte

Auch wenn dieses Thema derzeit noch keine allgemeine Akzeptanz in der Bevölkerung findet wird es früher oder später relevant werden. Entscheidend ist dabei, dass der Verbraucher für sich einen Nutzen in einem genetisch modifizierten Produkt sieht. Der Erfolg von sogenanntem „Health food“ zeigt, dass Veränderungen von Nahrungsmitteln nicht grundsätzlich abgelehnt werden.

Die Palette möglicher Veränderungen ist groß. Denkbar sind Manipulationen des Vitamingehaltes, Mineralstoffoptimierungen und insbesondere des Fettsäuremusters z. B. für spezielle Diäten. Entscheidend ist, dass es gelingt, die Verbraucher von der tiergerechten Entwicklung und Erzeugung solcher Produkte zu überzeugen.

Die Bewertung von Genmanipulationen erlangt eine gewisse Brisanz, wenn deren Einsatz zur Behebung allgemein als tierschutzrelevant erachtete Aspekte dienen könnte. So wäre es vorstellbar, in der Legehennenzucht bei heterogametischen weiblichen Tieren ein auf Fluoreszenz basierendes Markergen in das W-Chromosom einzubringen und mit einfachen Lichtreaktionen im frühen Stadium der Brut die männlich determinierten Eier auszuwählen und damit das Töten der Eintagsküken zu verhindern.

Einschaltung von „Speed genetics“ Phasen

Zukünftig werden von Zeit zu Zeit spezielle Phasen zur schnellen Einkreuzung erwünschter Eigenschaften in die eigenen Populationen stattfinden. Der Grundgedanke dieser „Speed genetics“ oder „Velogenetics“ genannten Phasen besteht darin, die Introgression eines Allels mit Hilfe biotechnischer Methoden und der Unterstützung durch genetische Marker zu beschleunigen. Hierzu werden die üblichen Rückkreuzungen nicht über die Erzeugung, Prüfung und Selektion adulter Individuen durchgeführt sondern ein „blinder“ Rückkreuzungsprozess mit juvenilen Individuen in Anpaarung an beste männliche Vererber durchgeführt. Damit lassen sich beim Rind unter Anwendung von OPU und IVF Generationsintervalle von unter zwei Jahren erreichen. Gleichzeitig wird die züchterische Wettbewerbsfähigkeit der Rückkreuzungen in den üblichen Merkmalen wiederhergestellt.

Statistischer Paradigmenwechsel

Die derzeitigen Methoden sind gekennzeichnet durch eine vorwiegend analytische Behandlung linearer statistischer Modelle. Die Ursache hierfür ist darin zu sehen, dass mit analytischen Methoden nur idealisierte Vorstellungen von der Realität abzubilden sind. Komplexere Modelle, die neben additiven auch nichtadditive Genwirkungen, Interaktionen zwischen Merkmalen und Auswirkungen von Selektionsentscheidungen abbilden wollen, verlangen einen Übergang zu stochastischen Methoden wie Markov-Chain-Monte-Carlo oder genetischen Algorithmen. Damit sind auch komplizierte Modellierungen nicht linearer Zusammenhänge und von Modellen, die Rückkopplungsprozesse einbeziehen können, möglich.

In der Tierzucht sind solche Verfahren, mit Ausnahme der gelegentlichen Verwendung von Gibbs-Samplern, noch nicht sehr gebräuchlich. Ihr Potential zeigen die Methoden aber bereits in anderen Gebieten der Biometrie, aber auch in der Ökonometrie.

Literatur

ANDERSSON, L.; HALEY, C.S.; ELLEGREN, H.; KNOTT, S.A.; JOHANSSON, M.; ANDERSSON, K.; ANDERSSON-EKLUND, L.; EDFORS-LILJA, I.; FREDHOLM, M.; HANSSON, I. et al.:

Genetic mapping of quantitative trait loci for growth and fatness in pigs. *Science* **263** (1994), 1771-1774

BLOTT, S.; KIM, J.J.; MOISIO, S.; SCHMIDT-KUNTZEL, A.; CORNET, A.; BERZI, P.; CAMBISANO, N.; FORD, C.; GRISART, B.; JOHNSON, D.; KARIM, L.; SIMON, P.; SNELL, R.; SPELMAN, R.; WONG, J.; VILKKI, J.; GEORGES, M.; FARNIR, F.; COPPIETERS, W.:

Molecular Dissection of a Quantitative Trait Locus. A phenylalanine-to-tyrosine substitution in the transmembrane domain of the bovine growth hormone receptor is associated with a major effect on milk yield and composition. *Genetics* **163** (2003), 253-266

- CARLBORG, O.; JACOBSSON, L.; AHGREN, P.; SIEGEL, P.; ANDERSSON, L.:
Epistasis and the release of genetic variation during long-term selection. *Nature Genetics* **38** (2006), 418-420
- FERNANDO R.L.; GROSSMAN, M.:
Marker assisted selection using best linear unbiased prediction. *Genet. Sel. Evol.* **21** (1989), 467-477
- GEORGES, M.; NIELSEN, D.; MACKINNON, M.; MISHRA, A.; OKIMOTO, R.; PASQUINO, A.T.; SARGEANT, L.S.; SORENSEN, A.; STEELE, M.R.; ZHAO, X.; WOMACK, J.E.; HOESCHELE, I.:
Mapping quantitative trait loci controlling milk production in dairy cattle by exploiting progeny testing. *Genetics* **139** (1995), 907-920
- GOSSNER, H.; FRIES, R.; THALLER, G.:
Ökonomische Aspekte und züchterische Konsequenzen der Gebrauchskreuzung beim Braunvieh. Vortragsveranstaltung der DGfZ und der GfT am 17./18. September 2003 in Göttingen
- GRISART, B.; COPPIETERS, W.; FARNIR, F.; KARIM, L.; FORD, C.; BERZI, P.; CAMBISANO, N.; MNI, M.; REID, S.; SIMON, SPELMAN, R.; GEORGES, M.; SNELL, R.:
Positional candidate cloning of a QTL in dairy cattle: identification of a missense mutation in the bovine DGAT1 gene with major effect on milk yield and composition. *Genome Res.* **12** (2002), 222-231
- HAYES, B.; GODDARD, M.E.:
The distribution of the effects of genes affecting quantitative traits in livestock. *Genet. Sel. Evol.* **33** (2001), 209-229
- KHATKAR, M. S.; THOMSON, P.C.; TAMMEN, I.; RAADSMA, H.W.:
Quantitative trait loci mapping in dairy cattle: review and meta-analysis. *Genet. Sel. Evol.* **36** (2004), 163-190
- MACKINNON, M.J.; GEORGES, M.:
Marker-assisted pre-selection of young dairy bulls prior to progeny testing. *Livest. Prod. Sci.* **54** (1998), 229-250
- MEUWISSEN, T.H.E.; HAYES, B.J.; GODDARD, M.E.:
Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* **157** (2001), 1819-1829
- NEUNER, S.; EMMERLING, R.; THALLER, G.; GÖTZ, K.U.:
Estimation of genetic parameters for mixed inheritance models using different types of information. *J. Dairy Sci.* [in press]
- WINTER, A.; KRAMER, W.; WERNER, F.A.; KOLLERS, S.; KATA, S.; DURSTEWITZ, G.; BUITKAMP, J.; WOMACK, J.E.; THALLER, G.; FRIES, R.:
Association of a lysine-232/alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl-CoA: diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **99** (2002), 9300-9305
- WU, J.; ZENG, Y.; HUANG, J.; HUO, W.; ZHU, J.; WU, R.:
Functional mapping of reaction norms to multiple environmental signals. *Genet. Res. Camb.* **89** (2007), 27-38

Autor:
Prof. Dr. GEORG THALLER
Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Hermann-Rodewald-Straße 6
24118 Kiel
Deutschland

E-Mail: gthaller@tierzucht.uni-kiel.de

MARKUS RODEHUTSCORD

Ansatzpunkte zur Schonung der begrenzten Phosphorressourcen

Abstract

Title of the paper: **Approaches for saving limited phosphate resources**

The sharp increase of phosphate prices in recent months has re-directed attention to the limitations of the global raw phosphate stores. Continuous phosphate supply is of crucial importance for living organisms. Sustainable resource management therefore demands for closed cycles and reducing raw phosphate mining. This paper highlights achievements and activities that were taken in the field of animal production. This includes the reduction in the use of phosphate supplements without impairing the animals and the use of enzyme supplements. Examples for potential future activities in animal nutrition are given. A key role plays the stocking density on a farm and region level. The role of the ban of meat and bone meal from feeding and the current sewage handling is also discussed in terms of phosphorus cycling. From a quantitative point of view it is very important to change the practise of handling meat meal and sewage in a way that allows for keeping the phosphates contained in these materials in the cycles.

Keywords: phosphorus, utilisation, balance, nutrient cycle, sewage, meat meal

Zusammenfassung

Steigende Preise für Phosphate haben dazu beigetragen, dass das Bewusstsein für die Begrenztheit der weltweiten Lagerstätten von Rohphosphaten wieder zugenommen hat. Da Phosphate zu den essenziellen Grundbausteinen des Lebens gehören, muss es das Ziel nachhaltigen Handelns sein, durch Schließen der Phosphorkreisläufe den weiteren Abbau der Lagerstätten erheblich zu vermindern. In diesem Beitrag werden die Ansatzpunkte erläutert, die bei der Lebensmittelerzeugung mit Tieren entweder bereits aufgegriffen wurden oder noch bestehen. Dabei wird gezeigt, dass die Ausscheidungen der Tiere im Grundsatz nicht negativ sind, sondern die Flächenausstattung des Betriebes in Relation zum Tierbesatz die für den Kreislauf entscheidende Größe ist. Dennoch kann es notwendig werden, die Effizienz der Phosphorverwertung auf der Ebene des Einzeltieres noch weiter zu erhöhen. Perspektiven hierfür werden aufgezeigt. Außerdem wird die Bedeutung der menschlichen Fäkalien sowie des Tiermehlverfütterungsverbotes unter dem Aspekt der Phosphorkreisläufe diskutiert. Zukünftige Entwicklungen müssen dafür Sorge tragen, dass die in kommunalen Abwässern und Tiermehlen enthaltenen Phosphormengen im Kreislauf verbleiben.

Schlüsselwörter: Phosphor, Verwertung, Bilanzen, Kreisläufe, Klärschlamm, Tiermehl

Einleitung

Phosphate gehören zu den Grundbausteinen des Lebens. Sie sind Bestandteil von Schlüsselmolekülen des Stoffwechsels und an vielen physiologischen Prozessen beteiligt. Unter quantitativen Gesichtspunkten kommt die größte Bedeutung bei Mensch und Tier dem Aufbau der Knochensubstanz zu. Der Tierkörper enthält je Kilogramm Körpermasse 4 bis 7 g Phosphor (P), wobei der Gehalt zwischen den Tierarten verschieden und zudem vom Wachstumsabschnitt abhängig ist. P-haltige Verbindungen sind zudem in von Tieren gebildeten Produkten wie Milch und Eiern enthalten. Menschen und Tiere sind also auf die regelmäßige Zufuhr von Phosphaten mit der Nahrung angewiesen.

Die Lagerstätten für Rohphosphate sind die wichtigsten Ressourcen, aus denen der Phosphatkreislauf kontinuierlich gespeist wird. Dass diese Lagerstätten endlich sind, ist lange bekannt (MENGEL, 1997). Europa ist weitgehend frei von solchen Lagerstätten und daher auf Importe angewiesen. Für die langfristige Sicherung der Phosphatversorgung gibt es daher keine Alternative zu dem Anspruch, P-Kreisläufe möglichst geschlossen zu halten und hierdurch den weiteren Abbau der Lagerstätten von Rohphosphaten zu minimieren. Die Bedeutung der Lebensmittelerzeugung mit Tieren in diesen Kreisläufen herauszuarbeiten und zudem gesellschaftliche Herausforderungen beim Erhalt der Kreisläufe aufzuzeigen, ist die Motivation für diesen Beitrag.

Seit etwa zwei Jahrzehnten ist die Optimierung der P-Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere Gegenstand der Forschung. Für verschiedene Tierarten wurden die Empfehlungen zur Versorgung überarbeitet. Zudem wurden die Methoden zur Ermittlung der Verwertbarkeit verschiedener P-Quellen für die Tiere weiterentwickelt. Anlass für diese Arbeiten gab zunächst die Erkenntnis, dass die Landwirtschaft in Regionen mit sehr hohen Phosphatgehalten der Böden für einen überhöhten Eintrag von Phosphaten in die Umwelt, insbesondere die Oberflächengewässer, mit verantwortlich war. Zunehmend kam das Bewusstsein für die Begrenzung der Lagerstätten für Rohphosphate und die Einbindung der Tierproduktion in die P-Kreisläufe hinzu. Die Klärschlammverordnung und später das Verbot der Verfütterung von Tier- und Fleischknochenmehlen haben die Möglichkeiten für den Erhalt der Kreisläufe eingeschränkt, und je nach Verwendungsalternative gehen Phosphate den Kreisläufen unwiederbringlich verloren.

Stand des Wissens bei landwirtschaftlichen Nutztieren

Häufig wird mit Blick auf effizientes Ressourcenmanagement eine möglichst hohe Verwertung der Nährstoffe durch das Tier als notwendig erachtet, ohne in jedem Fall begründet zu sein. Während eine hohe Verwertung insbesondere bei Nährstoffen, die gasförmig entweichen können (z.B. als Ammoniak oder Methan) erforderlich ist, ist eine Maximierung der P-Verwertung durch das Einzeltier nicht grundsätzlich notwendig. Vielmehr geht es darum, wie die Exkremente eingesetzt werden und wie viel Fläche für deren Ausbringung zur Verfügung steht. Mit Wirtschaftsdüngern ausgebrachter P mag eine andere Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit als mineralische P-Dünger haben, für die P-Bilanz des Bodens ist dieser Unterschied aber unerheblich. Auf der Ebene des Einzelbetriebes ist daher das Verhältnis der Tierzahl zur Nutzfläche ausschlaggebend. Daraus erklärt sich auch, dass die P-Ausbringung mit Wirtschaftsdüngern in verschiedenen Regionen unterschiedlich schnell zum begrenzenden Faktor für die Tierproduktion werden kann. Je höher die Tierdichte ist, desto größer ist allerdings die Notwendigkeit, eine hohe P-Verwertung durch das Einzeltier zu erreichen.

Die Arbeiten der Tierernährung an einer möglichst exakten Beschreibung der Faktoren des P-Bedarfes und der Verwertbarkeit der P-Quellen sind bereits weit vorangeschritten, aber wegen der Besonderheiten der verschiedenen Tierarten noch nicht abgeschlossen. Während es bei den Empfehlungen zur Versorgung zunächst hauptsächlich darum gegangen war, einen Mangel in der Versorgung der Nutztiere

sicher auszuschließen, wurde bei der Überarbeitung von Versorgungsempfehlungen in den zurückliegenden 15 Jahren zunehmend auch der Anspruch formuliert, eine hohe Verwertung des P durch die Tiere zu erreichen und die Ausscheidungen von P zu minimieren.

Wiederkäuer, insbesondere Milchkühe

An der Universität Bonn durchgeführte Arbeiten (BRINTRUP et al., 1993) zeigten, dass die P-Konzentration in Rationen für Milchkühe im Vergleich zu den damaligen Empfehlungen ohne negative Folgen gesenkt werden konnte. Von den Faktoren des P-Bedarfes wurde den unvermeidlichen Verlusten und der Verwertbarkeit besonderes Forschungsinteresse gewidmet. Es zeigte sich, dass die Verwertbarkeit des P deutlich höher war als zuvor angenommen (KODDEBUSCH und PFEFFER, 1988), und der Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) gab 1993 angepasste Versorgungsempfehlungen heraus (GfE, 1993, Abb. 1). Der hierin festgesetzte Wert für die Verwertbarkeit des P beträgt 70% und ist für alle P-Quellen unabhängig von der Bindungsform des P gleich.

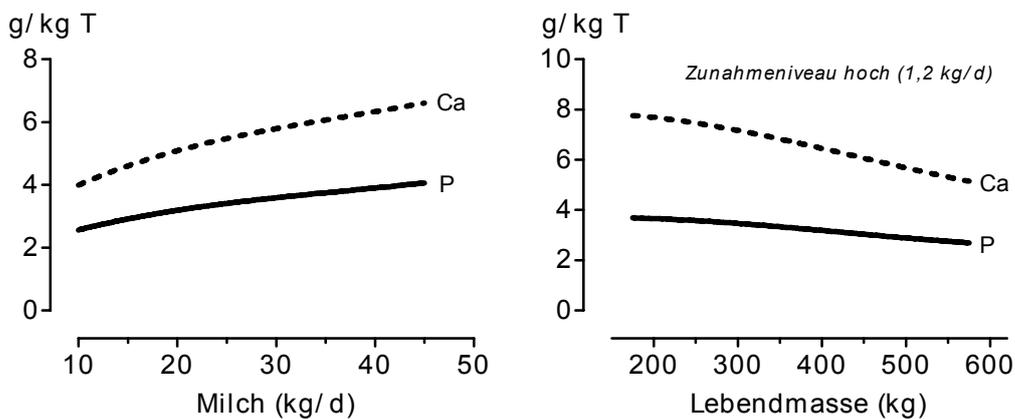


Abb. 1: Notwendige Gehalte an Phosphor (P) und Calcium (Ca) in Rationen für Milchkühe und Mastrinder, basierend auf den Empfehlungen der GfE (1995 und 2001)

Andere Arbeitsgruppen zeigten später in Langzeitstudien mit hoch leistenden Milchkühen, dass die P-Versorgung auch noch unter das von der GfE (1993) empfohlene Niveau gesenkt werden kann (VALK und SEBEK, 1999; WU und SATTER, 2000). Da die beiden wesentlichen Faktoren des Nettobedarfes bei der Milchkuh (Abgabe mit der Milch und unvermeidliche Verluste über die Exkrememente) gut quantifiziert sind (KLOSCH et al., 1997; RODEHUTSCORD et al., 2000; SPIEKERS et al., 1993), können die neueren Ergebnisse aus den Leistungsversuchen als Indiz dafür interpretiert werden, dass die Verwertbarkeit mit 70% derzeit noch zu niedrig angenommen wird. Aus wissenschaftlicher Sicht bestünde daher die Notwendigkeit und Rechtfertigung, weitere Untersuchungen zur Verwertbarkeit durchzuführen und die Versorgungsempfehlungen für Wiederkäuer gegebenenfalls erneut zu überarbeiten. Aus einer eher praktischen Perspektive betrachtet ist eine solche Überarbeitung aber nicht dringend notwendig. Viele der in Milchkuhrationen eingesetzten Futtermittel enthalten P in einer Konzentration, die eine mineralische Ergänzung schon auf Basis der derzeitigen Empfehlungen nicht erforderlich macht. Eine Ausnahme bilden Rationen mit hohen Anteilen von Maisprodukten oder

Zuckerrübenschnitzeln. Extraktionsschrote aus Sojabohnen und Raps sind als Proteinträger in Milchkurationen sehr bedeutend und tragen wegen ihrer relativ hohen P-Gehalte auch nennenswert zur Deckung des P-Bedarfes der Tiere bei. Diese P-Mengen reduzieren zu wollen, würde unter den derzeitigen Rahmenbedingungen bedeuten, die Proteinversorgung in einer Weise zu verändern, die die Fütterung erheblich verteuern würde.

Schweine

Bei Nicht-Wiederkäuern ist die Verwertbarkeit des P in erheblichem Umfang von den verwendeten Futtermitteln abhängig. Ein Grund hierfür ist, dass die Tiere nicht oder nur sehr begrenzt das Enzym Phytase bilden, das zur Hydrolyse von Phytin notwendig ist. Etwa die Hälfte bis zwei Drittel des P in pflanzlichen Samen liegt als Phytin gebunden vor (EECKHOUT und DE PAEPE, 1994). Das Vorkommen von pflanzeneigener Phytase ist zwischen den pflanzlichen Samen unterschiedlich, und da diese Phytase auch im Verdauungstrakt der Tiere wirkt, trägt sie zu Unterschieden in der Verwertbarkeit des P bei. Diesen Unterschieden wird mit Bewertungssystemen Rechnung getragen, die weltweit unterschiedlich sind. In einigen Ländern, einschließlich Deutschland, wird die Bewertung auf Basis des verdaulichen P (dP) vorgenommen (GFE, 1997). Wenn die Verdaulichkeit des P bei niedriger P-Versorgung gemessen wird, ist sie aufgrund der vernachlässigbar geringen P-Ausscheidung mit dem Urin eine sehr gut geeignete Messgröße für die Verwertbarkeit des P (GFE, 1994). Die Verdaulichkeit des P aus Einzelfuttermitteln schwankt beim Schwein zwischen 0 und nahezu 100%.

Die Empfehlungen zur Versorgung des Schweines werden ebenfalls auf der Basis des dP gegeben (GFE, 1997; GFE, 2006). Damit wird es möglich, P-Gehalte in den Futtermischungen je nach Leistungsrichtung und -stadium sowie verwendeten Futterkomponenten so einzustellen, dass eine hohe Ausnutzung des P erreicht wird. In der Schweinemast zum Beispiel kann die dP-Konzentration in der Futtermischung mit fortschreitendem Wachstum der Tiere kontinuierlich vermindert werden (Abb. 2). Entsprechend angepasste Systeme der Phasenfütterung haben sich als sehr wirksam zur Steigerung der P-Verwertung erwiesen.

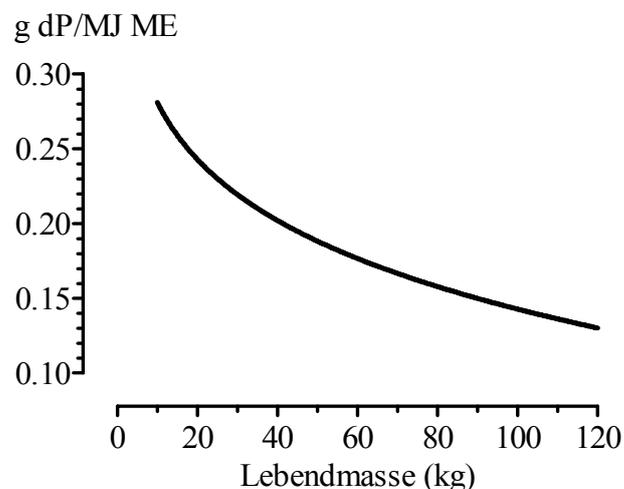


Abb. 2: Beziehung zwischen der Lebendmasse wachsender Schweine und dem Verhältnis von verdaulichem P (dP) zu umsetzbarer Energie (ME), kalkuliert auf der Basis der Versorgungsempfehlungen der GfE (2006)

Der Einsatz von Phytase mikrobiellen Ursprungs als Futterzusatzstoff ermöglicht es, die Verdaulichkeit des pflanzlichen P zu erhöhen. Relevant ist diese Möglichkeit insbesondere beim wachsenden Schwein und bei der ferkelführenden Sau. Auf der Grundlage von Verdaulichkeitsbestimmungen kann jeder Phytase ein Äquivalenzwert zugeordnet werden, der zum Ausdruck bringt, welche Menge an mineralischen P-Quellen infolge der erhöhten Verdaulichkeit der pflanzlichen P-Quellen eingespart werden kann (PADITZ et al., 2004).

Geflügel

Die Bedeutung der Bindungsform des P pflanzlichen Ursprungs und des Fehlens körpereigener Phytase ist beim Geflügel grundsätzlich ähnlich wie beim Schwein. Unterschiede in der Anatomie und Physiologie des Verdauungstraktes (z.B. Vorhandensein des Kropfes, Entwicklung des pH-Wertes) bedingen aber sowohl für pflanzliche als auch für mineralische P-Quellen Unterschiede in der Verwertung zwischen Schweinen und Geflügel. Selbst zwischen verschiedenen Geflügelarten gibt es Unterschiede in der P-Verwertung (RODEHUTSCORD und DIECKMANN, 2005). Im Gegensatz zur Situation bei Wiederkäuern und Schweinen gibt es für das Geflügel noch kein allgemein akzeptiertes Bewertungssystem, das der Vielfalt gerecht werden würde. Die derzeitigen Empfehlungen des Ausschusses für Bedarfsnormen basieren noch auf der rein analytischen Unterscheidung in Phytin-P und Nicht-Phytin-P, bei der eine Verwertbarkeit von 0 für Phytin-P und 70% für Nicht-Phytin-P unterstellt wird (GFE, 1999). Die Variation, die zwischen P-Quellen in der Bindungsform, der Löslichkeit des P und der Aktivität der pflanzeneigenen Phytase besteht, kann hiermit nicht hinreichend genau berücksichtigt werden. Der Ausschuss hat daher die Etablierung eines Systems des verwertbaren P für den Fall empfohlen, dass die methodische Grundlage zur Messung der P-Verwertbarkeit festgelegt ist (GFE, 1999).

Die P-Gehalte in Futtermischungen für wachsendes Geflügel können im Verlaufe des Wachstums prinzipiell ebenso angepasst werden wie zuvor für Schweinefutter beschrieben. Trotz der kurzen Wachstumsperiode kann selbst beim Broiler die Reduzierung der P-Gehalte effektiv sein (DIECKMANN, 2004). Besonders sinnvoll ist die Anpassung der P-Gehalte im Futter für männliche Puten wegen der langen Wachstumsphase (RODEHUTSCORD et al., 2003) oder für Mastenten wegen des schnell ansteigenden Fettansatzes und der damit einhergehenden Veränderung des Futteraufwandes (RODEHUTSCORD, 2006). Diese Anpassung der P-Gehalte in Phasenfütterungsprogrammen ist die wirkungsvollste Maßnahme zur Erhöhung der P-Verwertung. Zusätzliche Effekte werden bei Einsatz von Phytase als Futterzusatzstoff möglich.

Perspektiven für die zukünftige Entwicklung

Aus der Begrenztheit der globalen Lagerstätten für Rohphosphate ergibt sich die Notwendigkeit, mit zunehmend weniger Rohphosphatabbau auskommen und die Kreisläufe möglichst schließen zu müssen. In der Tierfütterung gibt es noch Potenziale. Die Nachhaltigkeit kann aber nur gesichert werden, wenn die Tierproduktion als Bestandteil eines größeren Kreislaufes begriffen wird und weitere Akteure im Kreislaufgeschehen Handlungsalternativen entwickeln.

Tierfütterung

Im vorangegangenen Kapitel ist erläutert worden, dass die wissenschaftliche Basis zur Maximierung der P-Verwertung auf der Ebene des Einzeltieres gut ist, sieht man von dem beim Geflügel noch bestehenden Forschungsbedarf ab. Es gibt zwar Hinweise, dass die Empfehlungen zur Versorgung von Wiederkäuern und Schweinen mit P weiter gesenkt werden könnten, aber unter Berücksichtigung der Futtergrundlage besitzt dies nach Meinung des Autors keine hohe Priorität. Falls Schweinemast auf der Basis des betriebseigenen Getreides und der gegenwärtigen Versorgungsempfehlungen durchgeführt wird, ist es realistisch, dass der Import von P in den Betrieb mit Proteinträgern und Mineralfuttermitteln nicht höher ist als der Export, der mit den Schlachtschweinen erfolgt. Daher ist unter diesen Bedingungen selbst bei hoher Produktionsintensität eine ausgeglichene P-Bilanz der Schweinemast möglich. In der Mast aller Nutztiere ist die kontinuierliche Reduktion der P-Gehalte im Futter im Verlaufe des Wachstums die wirksamste und einfachste Maßnahme zur Steigerung der P-Verwertung. Das Bewusstsein hierfür in der Beratung und Praxis zu schärfen und die Umsetzung zu fördern, sollte daher eine hoch priorisierte Aufgabe auch für die Wissenschaft sein.

In Regionen mit hoher Besatzdichte und einer weniger stark an die Fläche gebundenen Tierproduktion ist hingegen die Frage relevant, ob eine weitere Steigerung der P-Verwertung auf der Ebene des Einzeltieres möglich ist. Dies berührt insbesondere die Frage nach der Effizienz des Einsatzes von Phytasen bei Nicht-Wiederkäuern. Mikrobielle Phytasen unterscheiden sich in ihrer Herkunft und *In-vitro*-Eigenschaften wie pH-Optimum oder Beständigkeit gegenüber proteolytischer Aktivität im Dünndarm (SIMON und IGBASAN, 2002). Auch die Spezifika der Produktformulierung können die Effizienz beeinflussen, z.B. über eine Veränderung der Temperaturtoleranz. Versuche mit Messungen zur Verdaulichkeit zeigten, dass sich verschiedene Phytasen auch im Tier deutlich in ihrer Effizienz unterscheiden können (AUGSPURGER et al., 2003; PADITZ et al., 2004). Es ist daher vorstellbar, dass durch die Nutzbarmachung bislang kommerziell nicht erhältlicher Phytasen eine weitere Steigerung der Effizienz möglich wird. Gentechnisch gezielt konstruierte Phytasen (LEHMANN et al., 2000) könnten zu einem nützlichen Werkzeug werden, wenn es zur Zulassung käme. Auch die Kombination mit anderen Phosphatasen oder weiteren Enzymen könnte zu zusätzlichen Wirkungen führen.

Modifizierte Schweine, die ein phytase-codierendes Gen in der Speicheldrüse exprimierten, wiesen eine deutlich höhere P-Verdaulichkeit auf als die nicht-modifizierten Kontrolltiere (GOLOVAN et al., 2001), und der Anstieg war im Vergleich zu Studien, in denen Phytase als Futterzusatzstoff eingesetzt wurde, erheblich größer. Diese sehr hohe Wirkung auf die Verdaulichkeit hängt vermutlich damit zusammen, dass mit dem Speichel sehr viel Phytase sezerniert worden ist. In bislang unveröffentlichten Studien unserer Arbeitsgruppe konnte ein weiterer, wenn auch geringer, Anstieg in der P-Verwertung ermittelt werden, wenn der Zusatz von Phytase die übliche Dosierung weit überschritt. Phytasen haben also unter verschiedenen Gesichtspunkten noch ein Potenzial zur weiteren Steigerung der P-Verwertung. Ob dieses Potenzial praktisch nutzbar wird, lässt sich derzeit schlecht vorhersagen, weil insbesondere die Entwicklung des rechtlichen Rahmens und der gesellschaftlichen Akzeptanz für Produkte, die im weiteren Sinne mit gentechnisch veränderten Organismen in Verbindung gebracht werden, richtungweisend sein wird.

Auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes sind die Zusammenhänge bereits komplexer. Falls die Besatzdichte gering ist, kann auch eine schlechte P-Verwertung des Einzeltieres ohne negative Konsequenzen für den Kreislauf sein. Die unterschiedlichen P-Verbindungen, insbesondere die, die auf eine Überversorgung der Tiere zurückgehen, können durch die mit der Gülle gedüngte Feldfrucht verwertet werden. Dies impliziert, dass die Düngung mit mineralischen Phosphaten angepasst ist.

Umgang mit Abwässern

Noch komplexer werden die Zusammenhänge, wenn der Kreislauf in einer Region betrachtet wird. Spätestens dann wird es erforderlich, auch Lebensmittel und die Exkremate der Menschen in die Betrachtung einzubeziehen. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt eine tägliche Versorgung von 0,70 bis 1,25 g P für Menschen im Alter von mehr als zehn Jahren (DGE, 2002). Die Gesellschaft merkt zu dieser Empfehlung an, dass sie nur durch wenig experimentelle Daten belegt ist, Mangelsymptome als Folge einer zu geringen P-Versorgung aber nicht bekannt sind. In der Nationalen Verzehrsstudie ist geschätzt worden, dass in Deutschland von Menschen, die älter als 15 Jahre sind, im Durchschnitt 1,5 g P täglich verzehrt werden (DGE, 2004). Mit Abschluss des Skelettwachstums findet beim Menschen kaum noch eine Netto-Retention von P statt, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Ausscheidung mit Kot und Urin der Höhe des Verzehrs entspricht. Ertragreiche Ackerböden benötigen jährlich eine Düngung von ca. 30 kg P/ha, so dass rechnerisch die Exkremate von 55 Menschen reichen würden, um 1 ha Ackerland bedarfsgerecht mit P zu versorgen. Die Fortsetzung dieser Rechnung ergibt, dass die Exkremate aller Einwohner Deutschlands etwa 1/3 der P-Menge enthalten, die derzeit mit Mineraldüngern ausgebracht wird (ca. 120000 t/Jahr; Industrieverband Agrar, 2007). Dies sind zwar nur grobe Überschlagsrechnungen. Sie zeigen aber, welche große Bedeutung dem Umgang mit menschlichen Fäkalien und kommunalen Klärschlämmen in der Kreislaufwirtschaft zukommt. Wenn unerwünschte oder toxische Bestandteile des Klärschlammes einer umfänglichen Verwendung in der Landwirtschaft entgegenstehen, müssen Verfahren weiter entwickelt werden, die die Rückgewinnung von Phosphaten und gegebenenfalls anderen Nährstoffen aus den Abwässern ermöglichen. Eine Möglichkeit zur Rückgewinnung eines Pflanzendüngers scheint in der Fällung von Magnesiumammoniumphosphat zu bestehen (STUMPF, 2007).

Tiermehl

Das gegenwärtige Verbot des Einsatzes von Futtermitteln tierischer Herkunft in der EU ist, auch wenn es einige Ausnahmen gibt, dem P-Kreislauf ebenfalls abträglich. Etwa 85% des im Tierkörper enthaltenen P befinden sich in der nicht essbaren Fraktion. Sie sind daher in den Schlachtabfällen enthalten, die der wesentliche Rohstoff für die Tiermehlherstellung sind. Vor dem Verbot konnten die Tiermehle in der Fütterung von Schweinen und Geflügel eingesetzt werden. Wegen des hohen Gehaltes an P und der hohen P-Verdaulichkeit (RODEHUTSCORD et al., 1997) lieferten sie einen erheblichen Beitrag zur P-Versorgung der Tiere. Eine Arbeitsgruppe der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie hat geschätzt, dass durch das Verfütterungsverbot in der EU ein zusätzlicher Bedarf an mineralischen Phosphaten in der Fütterung in Höhe von 110000 t P/Jahr entstanden ist (RODEHUTSCORD et al., 2002).

Auch hier gibt es einen kontinuierlichen Verlust aus dem Kreislauf, solange Tiermehle verbrannt und nicht als Futtermittel eingesetzt werden. Die Ausbringung von Tiermehl als Pflanzendünger ist nur scheinbar eine Alternative, weil die pH-Verhältnisse im Boden die Löslichkeit der Phosphate erheblich einschränken. Eine Vorbehandlung zur Steigerung der Löslichkeit könnte geeignet sein, einen brauchbaren Dünger zu entwickeln.

Schlussfolgerungen

Die Begrenzungen der Lagerstätten für Rohphosphate erzwingen beim Umgang mit phosphorhaltigen Substanzen eine stärkere Beachtung des Kreislaufgedankens auf allen Ebenen. In der Tierproduktion wurde über die Anpassung von Versorgungsempfehlungen und die differenzierte Bewertung von P-Quellen bereits ein Fortschritt erzielt. Es bestehen aber noch weitere Möglichkeiten zur Erhöhung der Effizienz in einigen Segmenten der Tierproduktion. Auf der Ebene des Einzelbetriebes ist das Verhältnis von Tierzahl zu Ackerfläche für den P-Kreislauf ein ebenso wichtiger Einflussfaktor wie die P-Verwertung des Einzeltieres. Es ist dringend notwendig, die in Tiermehlen und in kommunalen Abwässern enthaltenen P-Mengen im Kreislauf zu halten.

Literatur

- AUGSPURGER, N.R.; WEBEL, D.M.; LEI, X.G.; BAKER, D.H.:
Efficacy of an *E. coli* phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* **81** (2003), 474-483
- BRINTRUP, R.; MOOREN, T.; MEYER, U.; SPIEKERS, H.; PFEFFER, E.:
Effects of two levels of phosphorus intake on performance and faecal phosphorus excretion of dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **69** (1993), 29-36
- DGE [Deutsche Gesellschaft für Ernährung] (Hrsg.):
Reference values for nutrient intake. 1st ed., Frankfurt am Main (2002)
- DGE (Hrsg.):
Ernährungsbericht 2004. Rheinbreitbach (2004)
- DIECKMANN, A.:
Beiträge zur Optimierung der Phosphorversorgung von wachsenden Broilern. Diss. agr., Universität Halle-Wittenberg, Aachen (2004)
- EECKHOUT, W.; DE PAEPE, M.:
Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Techn.* **47** (1994), 19-29
- GFE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie):
Überarbeitete Empfehlungen zur Versorgung von Milchkühen mit Calcium und Phosphor. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **1** (1993), 108-113
- GFE:
Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Die Bestimmung des verdaulichen Phosphors beim Schwein. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **2** (1994), 113-119
- GFE:
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. 6. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder. Frankfurt am Main (1995)
- GFE:
Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Überarbeitete Empfehlungen zur Versorgung von Schweinen mit Phosphor. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **6** (1997), 193-200
- GFE:
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. 7. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). Frankfurt am Main (1999)

GFE:

Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. 8. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt am Main (2001)

GFE:

Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. Frankfurt am Main (2006)

GOLOVAN, S.P.; MEIDINGER, R.G.; AJAKAIYE, A.; COTTRILL, M.; WIEDERKEHR, M.Z.; BARNEY, D.J.; PLANTE, C.; POLLARD, J.W.; FAN, M.Z.; HAYES, M.A.; LAURSEN, J.; HJORTH, J.P.; HACKER, R.R.; PHILLIPS, J.P.; FORSBERG, C.W.:

Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. *Nat. Biotechnol.* **19** (2001) 741-745

INDUSTRIEVERBAND AGRAR (Hrsg.):

Wichtige Zahlen Düngemittel. <http://www.duengung.net> (2007), zugegriffen am 15. August 2008

KLOSCH, M.; RICHTER, G.H.; SCHNEIDER, A.; FLACHOWSKY, G.; PFEFFER, E.:

Einfluss der Rationsgestaltung auf die faecale Phosphorausscheidung bei unterschiedlich schweren Mastbullen. *Arch. Anim. Nutr.* **50** (1997), 163-172

KODDEBUSCH, L.; PFEFFER, E.:

Untersuchungen zur Verwertbarkeit von Phosphor verschiedener Herkünfte an laktierenden Ziegen. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **60** (1988), 269-275

LEHMANN, M.; KOSTREWA, D.; WYSS, M.; BRUGGER, R.; D'ARCY, A.; PASAMONTES, L.; VAN LOON, A.P.G.M.:

From DNA sequence to improved functionality: using protein sequence comparisons to rapidly design a thermostable consensus phytase. *Protein Eng.* **13** (2000), 49-57

MENGEL, K.:

Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. *Europ. J. Agron.* **7** (1997), 221-233

PADITZ, K.; KLUTH, H.; RODEHUTSCORD, M.:

Relationship between graded doses of three microbial phytases and digestible phosphorus in pigs. *Anim. Sci.* **78**, (2004), 429-438

RODEHUTSCORD, M.:

Optimising the use of phosphorus sources in growing meat ducks. *World's Poult. Sci. J.* **62** (2006), 513-523

RODEHUTSCORD, M.; ABEL, H.; FRIEDT, W.; WENK, C.; FLACHOWSKY, G.; AHLGRIMM, H.-J.; JOHNKE, B.; KÜHL, R.; BREVES, G.:

Consequences of the ban of by-products from terrestrial animals in livestock feeding in Germany and the European Union: alternatives, nutrient and energy cycles, plant production, and economic aspects. *Arch. Anim. Nutr.* **56** (2002), 67-91

RODEHUTSCORD, M.; DIECKMANN, A.:

Comparative studies with three-week-old chickens, turkeys, ducks, and quails on the response in phosphorus utilization to a supplementation of monobasic calcium phosphate. *Poult. Sci.* **84** (2005), 1252-1260

RODEHUTSCORD, M.; FAUST, M.; HOF, C.:

Digestibility of phosphorus in protein-rich ingredients for pig diets. *Arch. Anim. Nutr.* **50** (1997), 201-211

RODEHUTSCORD, M.; HEUVERS, H.; PFEFFER, E.:

Effect of organic matter digestibility on obligatory faecal phosphorus loss in lactating goats, determined from balance data. *Anim. Sci.* **70** (2000), 561-568

RODEHUTSCORD, M.; WENDT, P.; STROBEL, E.:

Reducing the phosphorus concentration in diets for turkeys between 10 and 22 weeks of age. *Br. Poult. Sci.* **44** (2003), 591-597

SIMON, O.; IGBASAN, F.:

In vitro properties of phytases from various microbial origins. *Intern. J. Food Sci. Techn.* **37** (2002), 813-822

SPIEKERS, H.; BRINTRUP, R.; BALMELLI, M.; PFEFFER, E.:

Influence of dry matter intake on faecal phosphorus losses in dairy cows fed rations low in phosphorus. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **69** (1993), 37-43

STUMPF, A.:

Phosphorrecycling durch MAP-Fällung im kommunalen Faulschlamm. In: Publikationen des Umweltbundesamtes. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3471.pdf> (2007), zugegriffen am 15. August 2008

VALK, H.; SEBEK, L.B.J.:

Influence of long-term feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production, and body weight of dairy cows. *J. Dairy Sci.* **82** ((2007), 2157-2163

WU, Z.; SATTER, L.D.:

Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. *J. Dairy Sci.* **83** (2000), 1052-1063

Autor:

Prof. Dr. MARKUS RODEHUTSCORD

Institut für Tierernährung

Universität Hohenheim

Emil-Wolff-Straße 8-10

70599 Stuttgart

Deutschland

E-Mail: markus.rodehutsord@uni-hohenheim.de

THOMAS C. METTENLEITER und WOLFGANG W. BOEHLE

Erregerbedingte Erkrankungen unter veränderten Umweltbedingungen

Abstract

Title of paper: **Infectious diseases in a changing environment**

A changing environment may have direct or indirect effects on infectious diseases. The vulnerability of hosts to infections as well as the changing habitats of vectors of pathogens play a significant role. The changing environment includes increasing globalization and urbanization as well as climate change. Using examples from the veterinary and medical area, the influence of environmental conditions on the spread of infectious diseases are presented.

Keywords: pathogens, environment, vectors, zoonosis

Zusammenfassung

Veränderte Umweltbedingungen können sich direkt und indirekt auch auf Infektionskrankheiten auswirken. Dabei spielen sowohl die Anfälligkeit der Wirte für Infektionen als auch veränderte Habitate von Vektoren von Krankheitserregern eine bedeutende Rolle. Zu den veränderten Umweltbedingungen gehört neben der zunehmenden Globalisierung und Urbanisierung auch der Klimawandel. An einigen Beispielen aus dem veterinär- und humanmedizinischen Bereich soll der Einfluss von Umweltbedingungen auf die Verbreitung von Infektionskrankheiten dargestellt werden.

Schlüsselwörter: Erreger, Umwelt, Vektoren, Zoonosen

Einleitung

Infektionskrankheiten werden in ihrer Bedeutung für Mensch und Tier oftmals unterschätzt. Sie haben nicht nur auf das Individuum, sondern auf ganze Gesellschaftsstrukturen eine erhebliche Auswirkung. Pockenepidemien waren wesentlich dafür verantwortlich, dass die mittel- und südamerikanischen Reiche der Azteken und Inkas von den Spaniern erobert werden konnten. Später ließen Pocken- und Masern-Infektionen die Indianer Nordamerikas unterliegen. Die Seuchenzüge der Pest im späten Mittelalter führten zu enormen Bevölkerungsverlusten und veränderten grundlegend die Wirtschaftsstrukturen in Europa. Malariaepidemien haben nach Meinung von Geschichtswissenschaftlern zum Untergang des römischen Reiches beigetragen. In neuerer Zeit ist die spanische Grippe von 1918/19 als erste dokumentierte Influenza-Pandemie mit 20-40 Millionen Toten gerade in den letzten Jahren durch das Thema ‚Vogelgrippe‘ wieder ins Bewusstsein gelangt, während die weiterhin fortschreitende, Millionen von Opfern fordernde Pandemie des humanen Immundefizienzvirus, AIDS, aus den Schlagzeilen weitgehend verschwunden ist. Bei SARS ist die Menschheit einer ähnlichen Katastrophe nur knapp entgangen. Doch auch für Tiere sind Infektionskrankheiten von erheblicher Bedeutung: die Rinderpest führte in Europa bereits im 18. Jahrhundert zur Einführung erster funktionierender Veterinärregularien, die im Grundsatz heute noch erhalten sind. Die afrikanische

Schweinepest macht in manchen Regionen Afrikas eine Schweinezucht für die Proteinversorgung unmöglich. Während in unseren Breiten heimischen Tierseuchen in vielen Fällen durch Impfungen vorgebeugt werden kann, fehlen oftmals Impfstoffe gegen ‚exotische‘ Infektionskrankheiten vor allem in den endemisch verseuchten Ländern. Wie schnell aber ‚Exoten‘ zu uns kommen und bei uns Fuß fassen können, haben in den letzten Jahren die Beispiele H5N1 und Blauzungenkrankheit gezeigt. Dabei spielen die Globalisierung in Handel und Verkehr sowie Veränderungen der Umwelt einschließlich der Klimaänderungen entscheidende Rollen.

Umweltveränderungen

Die Sorge über globale Klimaveränderungen und deren Auswirkungen beherrscht gegenwärtig die öffentliche Diskussion über Umweltthemen. Die Übertragung vieler Infektionskrankheiten wird durch klimatische Faktoren beeinflusst. Infektionserreger und Vektoren sind empfindlich gegenüber Temperatur, Feuchtigkeit, Wind oder auch Änderungen im Oberflächenwasser und der Veränderung der Landschaftsstruktur durch klimatische Verhältnisse oder die Landnutzung. Dies trifft besonders auf die Krankheiten zu, die wie Malaria, Dengue-Fieber, Japan-Enzephalitis und Chikungunya auf das Vorhandensein von kompetenten Überträgern (Vektoren) angewiesen sind. Es ist vorauszusehen, dass der Klimawandel und das sich ändernde Wettergeschehen sowohl das Vorkommen als auch die Saisonalität und Intensität vieler Vektoren und Krankheitserreger stark beeinflussen werden (Abbildung 1). Erhöhte Feuchtigkeit und Wärme werden die Verbreitung von Vektorkrankheiten erhöhen, können aber im Gegenzug im Zusammenhang mit anderen Umweltfaktoren auch zu lokalen Reduktionen führen.

Disease	Vector	Population at risk (million) ¹	Number of people currently infected or new cases per year	Present distribution	Likelihood of altered distribution
Malaria	Mosquito	2,400 ²	300-500 million	Tropics and Subtropics	
Schistosomiasis	Water snail	600	200 million	Tropics and Subtropics	
Lymphatic Filariasis	Mosquito	1 094 ³	117 million	Tropics and Subtropics	
African Trypanosomiasis (Sleeping sickness)	Tsetse fly	55 ⁴	250 000 to 300 000 cases per year	Tropical Africa	
Dracunculiasis (Guinea worm)	Crustacean (Copepod)	100 ⁵	100 000 per year	South Asia, Arabian Peninsula, Central-West Africa	
Leishmaniasis	Phlebotomine sand fly	350	12 million infected, 500 000 new cases per year ⁶	Asia, Southern Europe, Africa, Americas	
Onchocerciasis (River blindness)	Black fly	123	17.5 million	Africa, Latin America	
American Trypanosomiasis (Chagas disease)	Triatomine bug	100 ⁷	18 million	Central and South America	
Dengue	Mosquito	1,800	10-30 million per year	All Tropical countries	
Yellow Fever	Mosquito	450	more than 5 000 cases per year	Tropical South America, Africa	

1. Top three entries are population-prorated projections, based on 1989 estimates.

2. WHO, 1994.

3. Michael and Bundy, 1995.

4. WHO, 1994.

5. Ranque, personal communication.

6. Annual incidence of visceral leishmaniasis; annual incidence of cutaneous leishmaniasis is 1-1.5 million cases/yr (PAHO, 1994).

7. WHO, 1995.

 Highly likely  Very likely  Likely  Unknown


 GRID-Arendal
 UNEP
 GRAPHIC DESIGN: PHILIPPE REBOUCHEVICZ

Source: Climate change 1995, Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, contribution of working group 2 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

Abb. 1: Wahrscheinliche Veränderungen durch den Klimawandel in der Verbreitung ausgewählter vektorübertragener Infektionskrankheiten (Quelle: UNEP GRID-Arendal <http://www.grida.no/climate/vital/39.htm>)

Durch Wasser und Lebensmittel übertragene Infektionskrankheiten werden ebenfalls durch veränderte Wetter- und Umweltbedingungen beeinflusst. Bei steigenden Temperaturen treten vermehrt Cholera-Infektionen auf. Starke Regenfälle, die die Trinkwassersysteme überfordern, können die Verbreitung von Fäkalbakterien und Cryptosporidien begünstigen.

Viele durch Vektoren übertragene Krankheiten, wie die Borreliose, das West-Nil-Fieber, das Hantavirus-Lungensyndrom und das Dengue-Fieber, haben deutliche saisonale Erscheinungsmuster, was darauf schließen lässt, dass ihr Verbreitungsgebiet sich durch veränderte Umweltbedingungen wandeln wird.

Mücken, wie Anopheles, Culex und Aedes sowie Gnitzen (*Culicoides*-Arten) sind für die Übertragung einer Vielzahl von Erkrankungen verantwortlich. Sie werden in allen Entwicklungsstadien von Temperaturänderungen ihres vornehmlich feuchten Biotops beeinflusst. Wenn die Temperaturen steigen, brauchen die Larven weniger Zeit sich zu entwickeln, wird die Zahl der Nachkommen anwachsen, werden die weiblichen Mücken öfter Blut saugen und werden sich auch die Erreger im Insekt schneller und effizienter vermehren. All dies kann die Übertragungsintensität vieler Erreger beschleunigen.

Ein gutes Beispiel für einen Vektor auf dem Vormarsch ist die asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), die eigentlich in Süd- und Ostasien beheimatet war. Sie breitet sich derzeit sowohl in Afrika und Amerika, als auch in Europa aus. Diese Mücke, die vor Kurzem erstmals auch nördlich der Alpen gefunden wurde, ist Überträger vieler Infektionserreger, so z. B. des Dengue-, Gelbfieber- oder Chikungunya-Virus.

Auch die zunehmende Urbanisierung ohne adäquate Infrastruktur, der Zusammenbruch von medizinischen und veterinärmedizinischen Versorgungs- und Überwachungssystemen in Krisenregionen, Flüchtlingsströme und große Wiederansiedlungen von Menschen mit starken Veränderungen der Umwelt tragen zur Verbreitung von Erregern und Vektoren bei. Die Globalisierung mit weltweitem Handel und intensiver Reisetätigkeit erlaubt die Einschleppung von ‚exotischen‘ Erregern und Vektoren über große Distanzen in kürzester Zeit.

In diesem Kontext wurde in den letzten Jahren die Aussage „One world, one health, one medicine“ geprägt, die auf die Tatsache hindeutet, dass eine Regionalisierung von Infektionen sowie die Trennung in human- und veterinärmedizinisch relevante Erreger nicht mehr zu rechtfertigen ist. Eine weltweite interdisziplinäre Zusammenarbeit ist nötig, um auch in Zukunft gegenüber den Erregern bestehen zu können. In dieses Netzwerk ist auch das Friedrich-Loeffler-Institut als Collaborating Centre für Zoonosen in Europa der Weltorganisation für Tiergesundheit (OIE) eingebunden. Wie notwendig diese Aktivität ist, zeigen folgende Beispiele aus jüngster Vergangenheit.

Blauzungkrankheit (Bluetongue, BT)

Die BT ist eine insektenübertragene Infektion der Wiederkäuer, die durch ein Virus aus der Familie *Reoviridae*, Gattung *Orbivirus* verursacht wird. Die Verbreitung erfolgt durch Gnitzen der Gattung *Culicoides*. Bisher sind 24 unterschiedliche Serotypen des Erregers bekannt. Die Infektion führt besonders bei Schafen zu schweren Krankheitsverläufen mit häufig letalem Ausgang. Bis zum Ende der 1990er Jahre wurde die BT nur sporadisch in Südeuropa nachgewiesen. Seither hat sich die Infektion in verschiedenen Seuchenzügen aus dem nordafrikanischen und

westasiatischen Raum mehrfach im Mittelmeergebiet verbreitet. Hauptvektor war dabei die vor allem in Afrika verbreitete *Culicoides imicola*. Deren Verbreitungsgebiet hat sich in den letzten 10 Jahren von der Küste Nordafrikas bis in die europäischen Mittelmeerländer ausgedehnt; eine Veränderung ihres Habitats, die mit der zunehmenden Erwärmung bis heute am plausibelsten erklärt werden kann. Während die graduelle Ausbreitung des Vektors *C. imicola* und damit verbunden auch der Infektionskrankheit erwartet wurde, kam das plötzliche Auftreten des bisher nie in Europa entdeckten Serotyps 8 (BTV-8) mitten in Zentraleuropa im Jahr 2006 völlig überraschend. Die schnelle Ausbreitung bei fehlenden Nachweisen von *C. imicola* wies überdies darauf hin, dass einheimische Vektoren für die Übertragung verantwortlich sein mussten. In der Tat haben umfangreiche entomologische Studien gezeigt, dass die bei uns gehäuft vorkommenden paläarktischen Gnizenarten-Komplexe *C. obsoletus* und *C. pulicaris* effiziente Überträger der Blauzungenkrankheit sind. Die explosionsartige Verbreitung besonders 2007, mit mehr als 20000 Fällen in Deutschland und einer geographischen Ausbreitung bis nach Großbritannien und Dänemark (Abbildung 2), führte 2008 zur schnellen Einführung einer flächendeckenden Impfung. Diese konnte gerade rechtzeitig vor dem Beginn der Hauptsaison der Vektoraktivität einen weitgehenden Schutz vor der Krankheit vermitteln, so dass sich die drastischen Verluste von 2007 nicht wiederholten. Trotzdem müssen wir davon ausgehen, dass sich diese Infektion in Mitteleuropa etabliert hat.

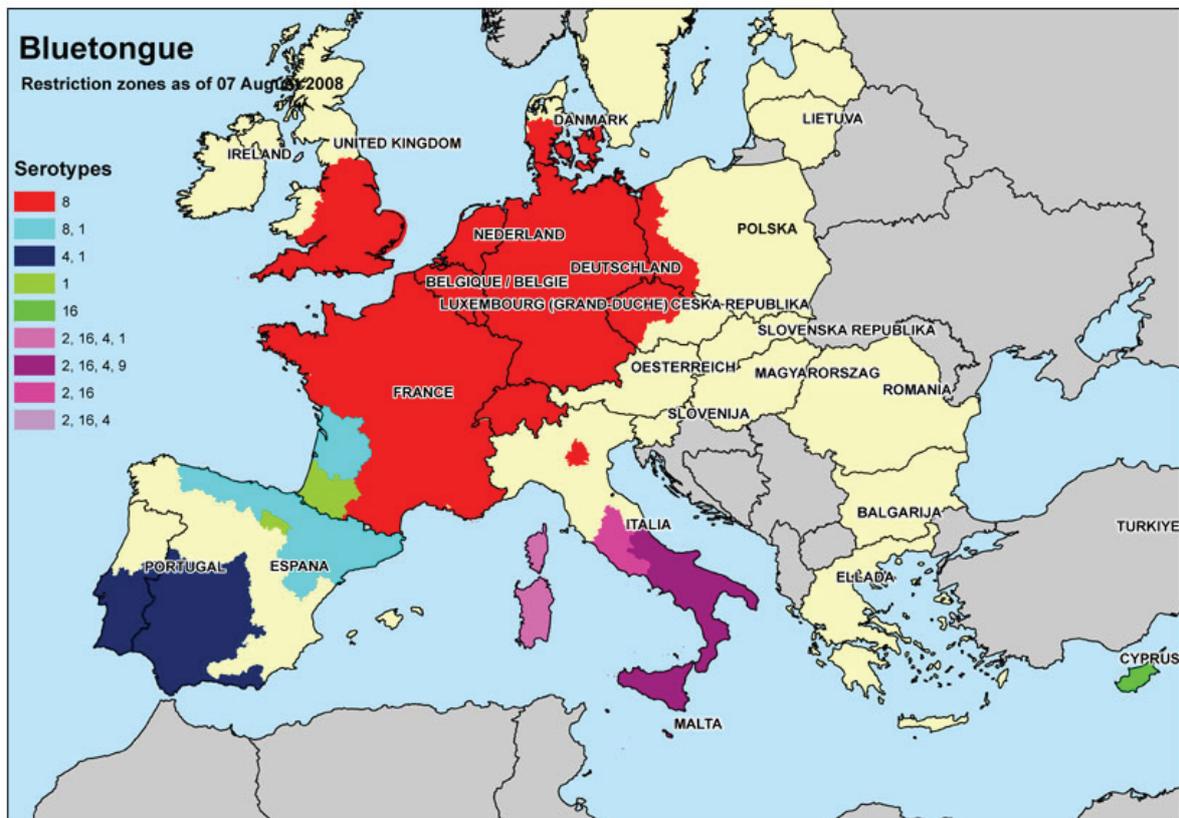


Abb.2: Restriktionszonen innerhalb der EU hinsichtlich Blauzungenkrankheit. Rot = BTV-8, Blau = BTV-1, Grün = BTV-8 und BTV-1 (Quelle: Europäische Union, Generaldirektion Gesundheit und Verbraucher, http://ec.europa.eu/food/animal/diseases/controlmeasures/BlueTongue_RestrictedZones.jpg)

Dieses Beispiel der Etablierung einer glücklicherweise für den Menschen ungefährlichen vektorübertragenen ‚exotischen‘ Infektion in unseren Breiten zeigt deutlich die Gefahr, die durch solche Ereignisse drohen kann. Bis heute ist ungeklärt, wie es zur Einschleppung des Erregers kam und warum beim Vorliegen einer vektorkompetenten Gnitzenpopulation die Infektion nicht schon viel früher bei uns aufgetreten ist. Die außergewöhnlichen klimatischen Verhältnisse der letzten beiden Jahre (heiße Sommer, warme Winter) werden sowohl mit der initialen Verbreitung als auch mit der ‚Überwinterung‘ der Infektion in Verbindung gebracht. Derzeit scheint zwar die durch BTV-8 ausgelöste Krankheit durch Impfung kontrollierbar zu sein, jedoch breitet sich von Südfrankreich her der Serotyp 1 (BTV-1) bereits in Richtung Norden aus. Auch hier muss also durch die Entwicklung eines Impfstoffs Vorsorge getroffen werden.

Afrikanische Schweinepest

Die Afrikanische Schweinepest (ASP) ist eine hochkontagiöse Krankheit der Schweine, die sich inzwischen auch außerhalb Afrikas verbreitet. Sie wird von einem großen DNA-Virus aus der Familie der Asfarviridae verursacht und kommt in fast allen Ländern südlich der Sahara vor. In der Neuen Welt und in Europa wurde die Krankheit erfolgreich getilgt – mit Ausnahme von Sardinien, wo sie bis heute in Wildschweinen und verwilderten Hausschweinen präsent ist. Im Jahr 2007 hat sich die Krankheit sprunghaft von Afrika zuerst nach Georgien, später Armenien und dann auch nach Süd-Russland ausgebreitet (Abbildung 3). Eingeschleppt wurde die Infektion vermutlich über den Schwarzmeerhafen Poti aus Ostafrika, da die dort grassierenden Viren dem kaukasischen Erreger sehr ähnlich sind. Vor dem Hintergrund des kriegerischen Konflikts in Georgien, der unzugänglichen Lage, der kleinbäuerlichen Strukturen und der Probleme der Veterinärdienste in vielen umliegenden Ländern droht hier eine weitere Ausbreitung. Von ASP werden domestizierte Schweine und Wildschweine befallen, wobei afrikanische Warzenschweine und Buschschweine meist inapparent infiziert sind und als Reservoir dienen. Die Übertragung erfolgt direkt von infizierten auf gesunde Tiere oder auch indirekt durch den Vektor, die Lederzecken der Gattung *Ornithodoros*. Außerdem kann eine Verbreitung durch Verfütterung von infektiösen Abfällen (häufig aus Schiffen oder Flugzeugen) und durch kontaminierte Kleidung, Geräte, Fahrzeuge etc. erfolgen. Ein Impfstoff steht bis heute nicht zur Verfügung. In Ländern, die von der Krankheit frei sind, kann nur eine strikte Importregelung von Tieren und ihren Produkten für Schutz sorgen. Zusätzlich ist eine strenge Kontrolle von Abfällen aus Schiffen und Flugzeugen und deren Dekontamination wichtig. Die Einschleppung von Afrika nach Georgien fand vermutlich durch unzureichende Entsorgung von Schiffsabfällen in Poti statt.

In betroffenen Ländern müssen strikte seuchenhygienische Maßnahmen ergriffen werden. Alle infizierten und ansteckungsverdächtigen Tiere müssen getötet und sicher entsorgt werden. Die Ställe müssen gründlichst gereinigt und desinfiziert werden. Ein totales Transportverbot und strengste Kontrollen sind unausweichlich, um große ökonomische Schäden zu vermeiden.

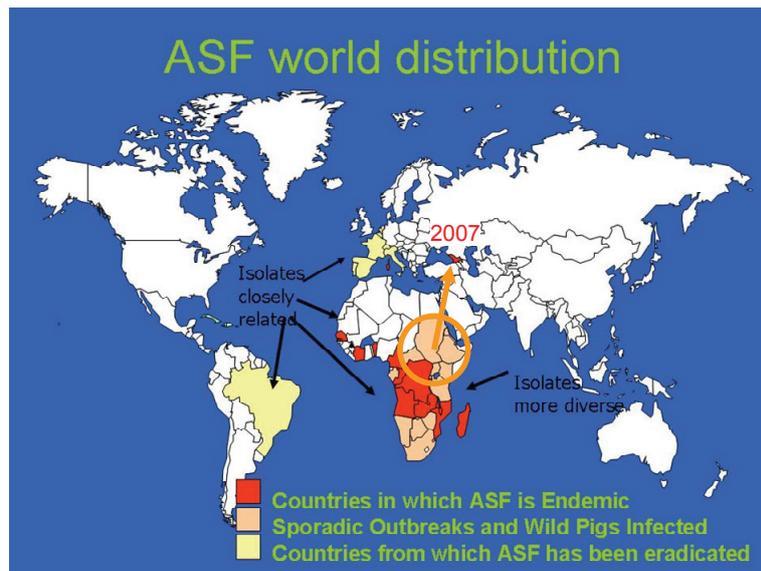


Abb. 3: Verbreitung der ASP (Quelle: IAH, Pirbright, GB; modifiziert)

Chikungunya

Der Name Chikungunya kommt aus der Sprache der Makonde, einer ethnischen Gruppe in Tansania und Mosambik, und bedeutet „gekrümmter Mann“, was auf den enormen abdominalen Schmerz, den die Krankheit verursacht, zurückgeht. Der Erreger gehört zur Gattung der Alphaviren innerhalb der Familie der *Togaviridae*. Chikungunya wurde zuerst 1952 in Tansania und Uganda beschrieben. Das Vorkommen war über lange Zeit auf Afrika beschränkt. Im Dezember 2005 begann eine epidemische Ausbreitung nach Osten, zuerst auf die Inseln Reunion und Mauritius, die Seychellen sowie Madagaskar im Indischen Ozean, dann nach Indien, Sri Lanka und Thailand. Inzwischen ist fast ganz Südostasien als infiziert zu betrachten. 2007 fand ein erster Ausbruch in Europa statt (Abbildung 4). Ein Tourist hatte das Virus im Juni 2007 aus Asien nach Ravenna in Norditalien mitgebracht. Dort traf es mit der asiatischen Tigermücke *Aedes albopictus*, die sich bereits bis dorthin ausgebreitet hatte, auf einen kompetenten Vektor und verursachte eine lokale Epidemie mit fast 200 Infektionen. Da das Virus im Vektor transovariell auf die Nachkommen weitergegeben wird, ist davon auszugehen, dass sich die Infektion dort auch etablieren kann. Von großer Bedeutung sind daher die sofort eingeleiteten Insektenvernichtungsprogramme, um die Vektorpopulation unter ein kritisches Limit zu drücken.

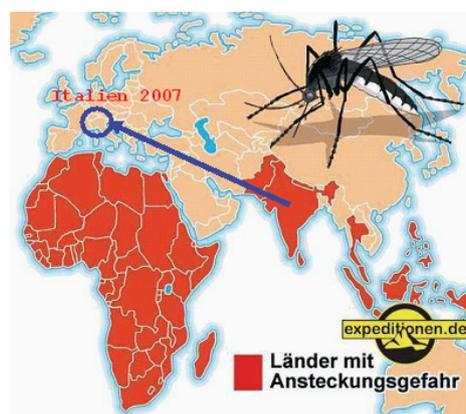


Abb. 4: Verbreitung von Chikungunya (Quelle: Expeditionen.de mit Ergänzungen, <http://www.expeditionen.de/adventure/reisen/84.html>)

Afrikanische Pferdepest (African Horse Sickness, AHS)

Die AHS ist eine tödliche Erkrankung der Einhufer, die wie die Blauzungenkrankheit von Gnitzen der Gattung *Culicoides* übertragen wird. Der Erreger ist dem Bluetongue-Virus eng verwandt und kommt in 9 Serotypen vor. Neben Pferden, Eseln und Maultieren/-eseln sind Zebras die Hauptwirte der AHS. Ein warmes und feuchtes Klima fördert die Präsenz der Vektoren und somit das Übertragungsrisiko für AHS. Das Hauptendemiegebiet der AHS ist Zentralafrika mit regelmäßigen Vorstößen ins südliche und nördliche Afrika. Aber auch außerhalb von Afrika trat die AHS bereits 1959-63 im Nahen und Mittleren Osten, 1966 sowie 1987-90 in Spanien und 1989 in Portugal auf. Bisher hat sie sich in Europa allerdings nicht etablieren können. Die rasche Ausbreitung der Blauzungenkrankheit, die im Vektorspektrum der AHS ähnelt, deutet aber auf die potentielle Gefährdung hin. Derzeit wird intensiv untersucht, ob die BTV-vektorkompetenten einheimischen Gnitzen auch AHS übertragen könnten.

‚Vogelgrippe‘ (Aviäre Influenza, AIV)

Wohl kaum ein Erreger hat die Öffentlichkeit in den letzten Jahren mehr beschäftigt als H5N1. Dieses Kürzel steht für die Subtypen der Oberflächenproteine Hämagglutinin (H) und Neuraminidase (N) des hochpathogenen aviären Influenzavirus, das sich aus dem asiatischen Raum seit 2005 nach Europa und Afrika ausgebreitet hat. Obwohl es sich primär weiterhin um einen tierpathogenen Erreger handelt, der insbesondere bei Hühnern die sogenannte Geflügelpest hervorruft, ist er durch sein zoonotisches Potential auch für den Menschen von Bedeutung. Glücklicherweise sind Infektionen des Menschen durch H5N1 sehr selten und treten nur bei intensivem Kontakt mit infiziertem Geflügel hauptsächlich in Südostasien und in Nordostafrika (Ägypten) auf. Eine effiziente Übertragung von Mensch zu Mensch, wie sie die humanen Grippeviren zeigen, ist bisher unterblieben. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich das Virus durch spontane Mutation oder Genom-Reassortment so verändert, dass es diese Eigenschaft erlangt und somit zu einer weltweiten Epidemie unter Menschen, einer Pandemie, führen kann. Unabhängig davon, ob durch H5N1 oder ein anderes Influenzavirus hervorgerufen, – die nächste Influenza-Pandemie wird kommen. H5N1 zeigt aber auch, wie schnell sich eine Infektion selbst auf natürlichem Wege über Kontinente hinweg ausbreiten kann (Abbildung 5), wobei neben der Rolle der Wildvögel, die für die Einschleppung nach Zentraleuropa verantwortlich gemacht werden, auch das Verbringen von infizierten Tieren oder tierischen Produkten durch den Handel eine Rolle spielt. Die Bedeutung der verschiedenen Einschleppungswege kann dabei in verschiedenen Regionen der Erde unterschiedlich sein.

Schweres akutes Atemwegssyndrom (Severe acute respiratory syndrome, SARS)

Was bei der Vogelgrippe durch den Langstrecken-Vogelzug geschah, trat bei SARS durch die globalen Reiseaktivitäten zutage: eine schnelle trans- und interkontinentale Ausbreitung einer Infektion. Es dauerte nur wenige Wochen bis die Infektion, die wie die Influenza durch Aerosole (‚Tröpfchen‘) übertragen wird, von Zentralasien ausgehend alle Kontinente erreicht hatte. Fast 1000 Menschen starben an der Infektion, die vermutlich ursprünglich von Fledermäusen stammend über einen anderen tierischen Wirt (Schleichkatze) auf den Menschen übertragen wurde. Epidemiologisch ließ sich der Weg des Virus von einem Hotel in Hongkong über

verschiedene Flugreisende bis in die Metropolen der anderen Kontinente verfolgen. Glücklicherweise ist der SARS-Erreger nicht so effizient übertragbar (kontagiös) wie das Influenzavirus, sodass durch konsequentes Vorgehen der Gesundheitsbehörden eine SARS-Pandemie und damit eine gesellschaftliche und wirtschaftliche Katastrophe ausblieb.

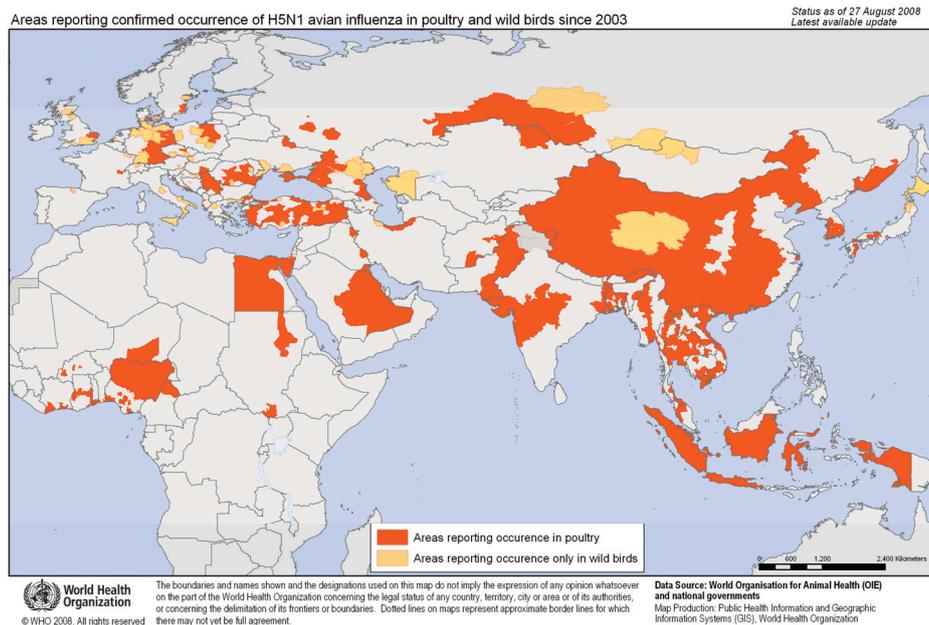


Abb. 5: Verbreitung des hochpathogenen H5N1 Influenzavirus in Nutzgeflügel (rot) und Wildvögeln (gelb) seit 2003. (Quelle: World Health Organization http://gamapservr.who.int/mapLibrary/Files/Maps/Global_SubNat_H5N1inAnimalConfirmedCUMULATIVE_20080915_1.png)

Schlussfolgerungen

Die oben aufgeführten Beispiele zeigen, dass Infektionskrankheiten nach wie vor eine Gefahr darstellen, die sich in den letzten Jahrzehnten durch veränderte Umweltbedingungen von der Bedrohung durch regional (endemisch) vorkommende Erreger zu einer globalen Problematik ausgeweitet hat. Sowohl die klimatischen Veränderungen als auch die Globalisierung in Handel und Verkehr führen zu einer beispiellosen Verbreitung von Erregern und deren Vektoren. Die Vorsorge in Form von (Weiter)Entwicklung von Prophylaxe- und Therapiemaßnahmen sowie grundlegende Forschungsarbeiten zum Verständnis der Biologie der Erreger, der Vektoren und der Wirte sind mehr denn je notwendig, um den damit verbundenen Gefahren adäquat begegnen zu können. Wie die Beispiele Pocken und Rinderpest zeigen, ist bei geeigneten Anstrengungen aber auch eine weltweite Eradikation von bestimmten Infektionskrankheiten im Bereich des Möglichen.

Literatur

Relevante Literatur kann bei den Verfassern angefordert werden.

korrespondierender Autor:
 Prof. Dr. Dr. h. c. THOMAS C. METTENLEITER
 Friedrich-Loeffler-Institut
 Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
 Südufer 10
 17493 Greifswald – Insel Riems
 Deutschland
 E-Mail: thomas.mettenleiter@fli.bund.de

EBERHARD VON BORELL und DIRK SCHÄFFER

Tiergerechte Nutztierhaltung – Eine Feldstudie auf der Basis von Kritischen Kontrollpunkten in der Schweinehaltung

Abstract

Title of the paper: **Welfare conform farm animal housing – a field study based on Critical Control Points from pig farms**

Twenty German pig units (grower and finisher) of different sizes were checked for animal health and welfare standards based on the concept of Critical Control Points (CCP). Special emphasis was put on building design, climatic conditions, management, animal hygiene and health status. None of the pig units fulfilled all control points. The greatest deficits were evident for comfort design features such as cooling devices and provision of exploration material. Only a few housing systems had lying areas that were functionally separated from the defecation and feeding areas. In addition, the documentation of animal based data was largely found to be insufficient. Suggestions for additional and revised assessment criteria are proposed as an outcome of this on-farm survey.

Keywords: animal welfare, housing, pigs, critical control points

Zusammenfassung

In 20 Schweinehaltungsbetrieben mit unterschiedlichen Bestandsgrößen wurde mit Hilfe von Kritischen Kontrollpunkten (CCP) eine On-farm-Erhebung durchgeführt, um den Stand der Einhaltung von gesetzlichen Vorgaben und Empfehlungen zur Tiergesundheit und des Tierschutzes in der Schweinehaltung zu überprüfen. Schwerpunktmäßig wurden die bauliche Ausstattung, das Stallklima, das Management, und die Tierhygiene sowie die Tiergesundheit in Haltungsverfahren für Aufzuchtferkel und Mastschweine bewertet.

Bei der Schwachstellenanalyse konnte festgestellt werden, dass keiner der Betriebe alle Kontrollpunkte erfüllte. Die größten Defizite wurden im Bereich der Ausstattung mit Komforteinrichtungen, Abkühlmöglichkeiten und dem Angebot von Beschäftigungsmaterial festgestellt. Nur wenige Haltungsverfahren wiesen separate Liegebereiche auf, die deutlich funktional vom Kot-/Harnbereich und vom Fressbereich getrennt waren. Defizite bestehen außerdem hinsichtlich der Vollständigkeit der Dokumentation von tierbezogenen Daten.

Es werden Vorschläge zu Erweiterungen und Verbesserungen der Erfassungskriterien gemacht.

Schlüsselwörter: Tierschutz, Haltung, Schweine, Kritische Kontrollpunkte

Einleitung

Aus der Sicht des Tier-, Umwelt- und Verbraucherschutzes erwächst ein zunehmender Handlungsbedarf für eine objektive Betriebsbeurteilung von Nutztierhaltungsverfahren. Besondere Schwierigkeiten bestehen dabei, die entsprechenden aussagefähigen Indikatoren zu finden, die neben dem Tierverhalten (ethologische Indikatoren), dem Aufbau und der Funktion des Haltungsverfahrens (technische Indikatoren, Stallklima) auch die Tiergesundheit (veterinärmedizinische bzw. pathologische Indikatoren) berücksichtigen. Ein im Tierhaltungsbetrieb zur Bewertung

verwendeter Indikator sollte dabei ohne großen Zeit- und Messaufwand erfassbar und übergreifend in allen zu kontrollierenden Betrieben anwendbar sein.

Unter dieser Zielsetzung wurden im Rahmen des DGfZ-Ausschusses für Tierhaltung und Tierschutz Kriterien zur Beurteilung von Nutztierhaltungsverfahren erarbeitet (VON BORELL und VAN DEN WEGHE, 1999). Basierend auf dem Konzept der Kritischen Kontroll- bzw. Managementpunkte (CCP/CMP) erfolgte die Entwicklung eines Beurteilungssystems für die Tiergerechtheit von Schweinehaltungssystemen über alle Produktionsstufen (VON BORELL et al., 2001; HOY et al., 2004). Da das Konzept auch für eine stufenübergreifende Anwendung zur Beurteilung der gesamten Produktionskette im Rahmen der Qualitätssicherung vom Erzeugerbetrieb bis zum Schlachthof eingesetzt werden soll, wurde es auf das Handling beim Verladen von Schlachtschweinen (SCHÄFFER und VON BORELL, 2007a, b), den Transport (SCHÄFFER und VON BORELL, 2002a) sowie im Schlachthof auf das Entladen der Transportfahrzeuge (SCHÄFFER und VON BORELL, 2002b), den Ruhestall (SCHÄFFER und VON BORELL, 2002c), den Zutrieb zur Betäubung (SCHÄFFER und VON BORELL, 2003) und die Durchführung der CO₂-Betäubung (SCHÄFFER und VON BORELL, 2004) erweitert. Vergleichbare Checklisten wurden auch für verschiedene Produktionsstufen der Rinderhaltung erarbeitet (VON BORELL et al., 2007).

Diese Entwicklung erschien notwendig, da einerseits vorhandene Konzepte (z. B. Tiergerechtheitsindex 200; WALTER und POSTLER, 1994) aufgrund der Gewichtung der Indikatoren zu widersprüchlichen Ergebnissen führen, die Gesamtheit der Produktionskette nicht berücksichtigen und andererseits der Bedarf an einem einfach zu handhabenden Konzept seitens der Administration (z. B. amtstierärztliche Kontrollen), der Lebensmittelindustrie bzw. auch der Erzeugerbetriebe enorm gestiegen ist. Im Rahmen des Qualitätsmanagements ist – auf der Basis allgemeingültiger und vergleichbarer Kontrollsysteme – auch die permanente Eigenkontrolle der Betriebe erforderlich.

Mittlerweile steht mit dem Nationalen Bewertungsrahmen für Tierhaltungsverfahren auch ein umfassendes theoretisches und komplexes Konzept für eine ausgewählte Anzahl von Schweinehaltungsverfahren zur Verfügung, das für jedes Haltungsverfahren angewandt werden kann (siehe SCHRADER et al., 2006a).

Durch VON BORELL et al. (2002) erfolgte eine erste praktische Überprüfung des Konzepts der Kontrollpunkte, wobei bisher vorrangig die Ergebnisse zur Sauenhaltung Berücksichtigung fanden. Im Ergebnis dieser Auswertungen erwies sich das Konzept einerseits als praktikabel, aber andererseits wurden auch weitere Erhebungen und Anpassungen von Kontrollpunkten als notwendig erachtet. Der vorliegende Beitrag hat das Ziel, auf einzelne Ergebnisse der Bewertung der Haltung von Aufzuchtferkeln und Mastschweinen über Kontrollpunkte einzugehen und dabei vor allem Mängel aufzuzeigen. Außerdem werden neuere Entwicklungen und Möglichkeiten, die sich aus aktuellen Ergebnissen der theoretischen Bewertung von Haltungsverfahren ergeben (z. B. Risikobewertung der Tiergesundheit und Umweltwirkungen im Nationalen Bewertungsrahmen für Tierhaltungsverfahren, SCHRADER et al., 2006b), bei der On-farm-Bewertung berücksichtigt.

Material und Methoden

Die entwickelte Bewertungsmethode wurde bisher in eigenen Untersuchungen in 20 Betrieben mit Ferkelaufzucht (14 Haltungsverfahren) und Schweinemast (16 Haltungsverfahren) mit inhomogenen Bestandsgrößen (400 bis 5 800 Aufzuchtferkel/Betrieb und 900 bis 18 000 Mastschweine/Betrieb) und verschiedenen Haltungsverfahren (Aufstallung auf Voll-/Teilspaltenboden und Stroh) sowie unterschiedlich technischer Ausstattung auf Praxistauglichkeit und Mängel getestet. Die zur Bewertung verwendeten Erfassungsbögen für Aufzuchtferkel und Mastschweine berücksichtigen Kontrollpunkte zum Aufbau des Haltungsverfahrens, zur Tierhygiene und -gesundheit sowie zum Verhalten und Management. Insgesamt wurden 31 Kontrollpunkte für die Ferkelaufzucht und 36 Kontrollpunkte für die Schweinemast erfasst. Bei der Bewertung der Tiergesundheit und -hygiene konnten nicht in allen Betrieben aussagefähige Ergebnisse für die Bewertung der Haltung gewonnen werden.

Ergebnisse

Kritische Kontrollpunkte für bauliche Voraussetzungen in der Schweinehaltung

Bei den Aufzuchtferkeln waren folgende Schwachstellen in den Betrieben feststellbar: In keinem Betrieb waren spezielle Scheuereinrichtungen zur Ausführung des Komfortverhaltens vorhanden (Tabelle 1). In fünf Ferkelaufzuchtbetrieben gab es keine Beschäftigungselemente, fünf Betriebe hatten zumindest Ketten und nur ein Betrieb bot Stroh – als ständig vorhandenes und manipulierbares Material – an. Bei den Mastschweinen bot nur die Hälfte der Betriebe Beschäftigungsmaterial an. In keinem Mastbetrieb konnten Komforteinrichtungen (z.B. Scheuerpfahl) festgestellt werden.

Das Platzangebot zum Liegen erwies sich in zwei Ferkelaufzuchtbetrieben als ungenügend, dafür war eine klare Trennung von Kot- und Fressbereich zum Liegebereich nur in jeweils vier Ferkelaufzucht- und Mastbetrieben vorhanden. Ein weiteres Defizit bestand bei der Ausstattung mit Möglichkeiten für eine aktive Thermoregulation (z.B. Wahl zwischen Klimabereichen, Dusche).

Tabelle 1

Kritische Kontrollpunkte für bauliche Voraussetzungen in der Schweinehaltung

Kontrollpunkte	FAZ erfüllt (Betriebe%)	Mast
separater Liegebereich vorhanden	28,6	18,8
funktionelle Trennung Kot-/Harnbereich vom Liege- und Fressbereich	28,6	25,0
gleichzeitiges Liegen aller Tiere in Seitenlage möglich	85,7	–
Bodengestaltung, entsprechend TierSchNutzV	100,0	87,5
unbehindertes Aufstehen und Abliegen möglich	92,8	100,0
Fressplatzgestaltung, entsprechend TierSchNutzV	85,7	93,8
Anzahl Tiere je Tränke, entsprechend TierSchNutzV	92,8	81,3
Wasserversorgung entsprechend Vorgaben	100,0	100,0
manipulierbare Materialien zur Erkundung und zum Spielen vorhanden	64,2	50,0
Scheuereinrichtungen vorhanden	0	0
Stallklima (Lüftung nach gesetzlichen Vorgaben ausgeführt)	64,2	87,5
Möglichkeiten zur Thermoregulation vorhanden	42,8	31,3

FAZ=Ferkelaufzucht

Kritische Kontrollpunkte zum Management in der Schweinehaltung

Bei der Bewertung des Managements ergab sich als Hauptmangel die fehlende Dokumentation zu den Tierverlusten (fünf Ferkelaufzuchtbetriebe), wobei allerdings nur in zwei Betrieben Verluste über 1,5% der eingestellten Aufzuchtferkel angegeben wurden (Tabelle 2).

Tabelle 2
Kritische Kontrollpunkte zum Management in der Schweinehaltung

Kontrollpunkte	FAZ erfüllt (Betriebe %)	Mast erfüllt (Betriebe %)
Ferkelzukauf von einem Erzeuger	100,0	75,0
Beachtung der Gruppenzusammensetzung	92,8	100,0
tägliche Gesundheitskontrolle durch Tierhalter	100,0	–
Aufzucht: werden untergewichtige Ferkel gesondert behandelt	92,8	–
Mast: alle Aufzuchtferkel aus einer Geburtswoche	–	75,0
Platzangebot insgesamt ausreichend	85,7	–
Verluste < 1,5 %	85,7	–
Aufzeichnungen über Tierverluste vorhanden	64,2	–
Aufzeichnungen über Tierbehandlungen vorhanden	100,0	–
Kadaververwahrung (Vorgaben eingehalten)	100,0	–
werden die Leistungsdaten erfasst	–	81,3
wird dafür Software verwendet	–	62,5
werden die Daten für eine innerbetriebliche Schwachstellenanalyse genutzt	–	75,0
wird die Futterzusammensetzung im Mastverlauf an den Eiweißbedarf angepasst	–	100,0
wird die Tierschutz-Transportverordnung bei Transportvorbereitung und Einstellung eingehalten	–	93,75

FAZ=Ferkelaufzucht

Auch bei den Mastschweinen wurden nicht in allen Betrieben die tierbezogenen Daten in vollem Umfang erfasst.

Tabelle 3
Vergleich der Mortalität von Aufzuchtferkeln in verschiedenen Haltungsverfahren (zusammengestellt nach Quellenangaben). Aufgrund der geringen Datengrundlage und zum Vergleich auch Angaben aus der ökologischen Haltung

Aufzuchtferkel (n)	Haltungssystem	Mortalität (%)	Literatur
Daten aus einem	Tiefstreu	2,67	SCHWARTING und KLEINER (1994)
	Teilspaltenboden	2,34	
Verbundsystem	Flatdeck	2,90	SCHWARTING et al. (2001)
	Nürtinger System	1,24	
1200	Außenklima/Einstreu/Ruhekisten	1,5	LWZ HAUS DÜSSE (2003); STALLJOHANN et al. (2003)
316/355	Ökologische Haltung (Einstreu)	<u>2000/01</u> <u>2001/02</u> 11,7 2,1	
336	Drainierte Liegefläche	4,16 (berechnet)	LWZ HAUS DÜSSE (2004)
271	Ökologische Haltung (Einstreu)	<u>2001/02</u> 11,7	HOPPENBROCK (2002); HOPPENBROCK et al. (2004)
109	Stallhaltung (Geburt und Aufzucht)	10,1	LAHRMANN et al. (2004)
105	Geburten im Stall/Aufzucht außen	5,7	
90	Geburten außen/Aufzucht im Stall	2,2	IŞIK (2004)
87	Außenhaltung	1,1	
517	Flatdeck/Kontrollgruppe	4,6	IŞIK (2004)
572	Flatdeck / mit Lactulosefütterung	3,0	

Vergleicht man beispielhaft die wenigen Verlustangaben aus der Literatur (unterschiedliche Bestandsgrößen und Haltungsverfahren, Tabelle 3) für Aufzuchtferkel mit den eigenen Erhebungsergebnissen, liegen die vor allem bei externen Versuchen erhobenen Daten deutlich über dem Grenzwert von 1,5% Tierverlusten.

Die Abfrage der Mortalität über einen Kontrollpunkt liefert daher nur Anhaltspunkte darüber, ob zum Zeitpunkt der Datenauswertung ein gravierender Mangel im Bestand zu erhöhten Abgängen führte.

Kritische Kontrollpunkte zum Gesundheits- und Hygienestatus in der Schweinehaltung
Problematisch war vor allem das Resultat, dass fünf Ferkelaufzuchtbetriebe keine eindeutigen Aussagen zur Anwendung von Impfplänen geben konnten (daher nur 9 Betriebe in der Auswertung für diesen CCP) und ein Betrieb überhaupt keine Impfplanung betrieb (Tabelle 4). Außer in drei Ferkelaufzuchtbetrieben wurde über die Fütterung Coli-Enterotoxämie-Prophylaxe betrieben.

In fünf Ferkelaufzuchtbetrieben wurden zudem die Anforderungen an das Stallklima nicht erfüllt. Als besonders kritisch sind – im Hinblick auf die Ausbreitung von Krankheiten im Bestand – die fehlenden Krankenbuchten in drei Ferkelaufzucht- und zwei Mastbetrieben zu werten. Außerdem werden nicht von allen Mastbetrieben die Rückmeldungen über Organverwerfungen seitens der Schlachthöfe ausgewertet.

Tabelle 4

Kritische Kontrollpunkte zum Gesundheits- und Hygienestatus in der Schweinehaltung

Kontrollpunkte	FAZ erfüllt (Betriebe %)	Mast
Alles raus – Alles rein – Prinzip	92,8	68,8
Reinigung und Desinfektion nach betrieblichen Vorgaben	100,0	100,0
Impfungen nach Impfplan bzw. spezifischen Vorgaben	88,9	100,0
Aufzucht: Coli-Enterotoxämie-Prophylaxe	71,4	
Mast: Informationen über Impfungen der Ferkel vorhanden		100,0
Entwurmung vor Einstallung	–	75,0
Wasserqualität nach Vorgaben	78,6	75,0
Fütterungshygiene entsprechend Futtermittelgesetz	–	87,5
Krankenbuchten für 1% der Tiere vorhanden	71,4	87,5
Bonitur bei Einstallung	85,7	100,0
ist der Spaltenboden sauber	88,9	100,0
sind bei Teilspaltenböden die Festflächen sauber	–	100,0
ist die Ein-/Tiefstreu sauber und trocken	–	100,0
wird eine Schädnerbekämpfung durchgeführt	100,0	100,0
Stalltemperatur bei Einstallung >28°C	69,2	–
gibt es Rückinformationen vom Schlachtbetrieb zu Verwürfen	–	68,8

Betrachtet man das Gesamtergebnis, haben immerhin 43% der 14 Ferkelaufzuchtbetriebe über 80% der Kontrollpunkte (≥ 25 Kontrollpunkte von max. 31) erfüllt (Abbildung 1). Sechs Betriebe erfüllten noch 60 bis 80% (22 bis 25 Kontrollpunkte) und zwei Betriebe nur noch knapp über die Hälfte der Kontrollpunkte.

Von den Betrieben mit Mastschweinehaltung erfüllten sechs Betriebe $\geq 83\%$ der Kontrollpunkte von maximal 36 zu erreichenden. Die restlichen Betriebe konnten über 63% der Kontrollpunkte erfüllen.

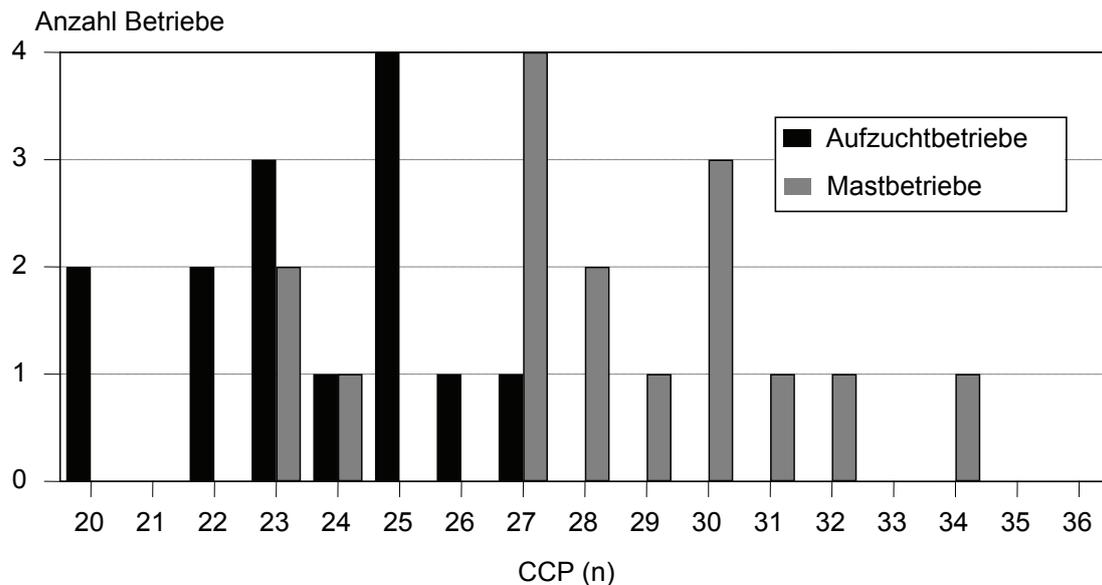


Abb. 1: Verteilung der Ferkelaufzucht- (n=14) und Mastbetriebe (n=16) auf die jeweils erreichte Anzahl an erfüllten Kontrollpunkten

Diskussion

Ein in der Ferkelaufzucht und in der Mast immer wieder auftretendes und stellenweise mit Verlusten und enormen Qualitätsabschlägen verbundenes Verhalten ist das Schwanz- und Ohrenbeißen. MOINARD et al. (2003) ermittelten sowohl die Risikofaktoren für das Auftreten dieser Verhaltensstörung in den Betrieben als auch die Managementfaktoren, die das Tierverhalten beeinflussen.

HAUSLEITNER und TRUSCHNER (2002) analysierten den Kenntnisstand in der Literatur und eigene Untersuchungen in Betrieben, in denen Schwanz- und Ohrenbeißen auftrat. Die Autoren ermittelten 27 verschiedene Faktoren, die dieses gegen Artgenossen gerichtete Verhalten auslösen können. Einige dieser Ursachen könnten durchaus in Form von Kontrollpunkten mit in das Bewertungssystem einbezogen werden.

Daher wäre es sinnvoll, für das Stallklima weitere Kontrollpunkte, wie die Luftgeschwindigkeit (nicht > als 2 m/s), das Auftreten von Zugluft, die Luftfeuchtigkeit (nicht > als 80%), die Temperaturhöhe und -schwankungen (Grenzwerte bezogen auf das jeweilige Haltungsverfahren), den erhöhten Schadgasgehalt sowie die Art und Weise des Lichteinfalls mit aufzunehmen. Diese Kontrollpunkte fanden im bisherigen Konzept keine Berücksichtigung, da dieses zunächst für die betriebliche Eigenkontrolle konzipiert wurde und der Betriebsleiter nicht über die dazu notwendigen Messinstrumente verfügt.

Für den Aufbau und die Funktion des Haltungsverfahrens sollten als separate Kontrollpunkte die Buchtenstruktur und -ausführung (Höhe der Buchtenwände), die konkrete Besatzdichte bezogen auf das Haltungsverfahren, die Gruppengröße je Bucht und der Liegekomfort mit berücksichtigt werden.

Ein bisher wenig beachteter Einflussfaktor ist die Art des Futters und seine Darbietung. So können Futterautomaten falsch positioniert werden, das Futter kann einen zu hohen feinmehligen Anteil oder Eiweißgehalt aufweisen. Rohfaser- und

Salzgehalt können wiederum zu gering sein. Auch Rationsänderungen und ausschließliche Pelletfütterung wirken sich negativ auf das Verhalten aus.

Wenn bei der Kontrolle Schwanz- und Ohrenbeißen auftritt, sind auch Abfragen zur Häufigkeit des Auftretens (Anzahl betroffener Tiere je Bucht/Abteil), die Listung der bisher getroffenen Maßnahmen sowie Qualifikation des betreuenden Personals und die Anzahl der Aufzuchtferkel je Betreuer zu berücksichtigen (siehe Selbstevaluierung Tierschutz – Checkliste Schweine, TROXLER et al., 2005). Außerdem sollten dann mehr Buchten bzw. Abteile im Bestand kontrolliert werden. Auch eine separate Analyse zur Vorbeugung gegen Schwanz- und Ohrenbeißen mit Hilfe einer Checkliste von Kontrollpunkten im Rahmen der Selbstevaluierung – analog der Risikobewertung im Nationalen Bewertungsrahmen zur Tiergesundheit (siehe SCHRADER et al., 2006b) – wäre mithilfe der erweiterten Kontrollpunkte möglich. Wird bisher – bei entsprechender Übung der kontrollierenden Personen – für die Erfassung der Kontrollpunkte je Bucht innerhalb des Abteils/Stalles ein Zeitvolumen von 15 bis 20 min benötigt, so wird sich der Zeitaufwand bei der Erweiterung des Konzeptes auf bis zu eine Stunde je Stalleinheit ausdehnen. Dies ergibt sich u. a. aus den notwendigen Klimamessungen vor Ort, die von der Größe des Abteils bzw. Stalles und damit von der Anzahl der notwendigen Messpunkte in den Buchten und Abteilen abhängig sind. So wird z. B. eine Beleuchtungsstärkemessung nicht, wie fälschlicherweise oft angenommen, durch einmaliges Einschalten des Luxmeters im Stall, sondern über ein Rastersystem von Messpunkten mit mehreren Messungen je Messpunkt (Methodik siehe bereits BÄHR et al., 1983) ermittelt.

Schlussfolgerungen

Die Kontrollpunkte für die Ferkelaufzucht und die Schweinemast erwiesen sich als praktikabel.

Kontrollpunkte, die nicht vor Ort erhoben werden können, sondern erfragt werden, müssen in ihrem Aussagewert besonders beurteilt werden (z. B. Mortalitätsdaten). Es sei denn, dass zum Kontrollzeitpunkt separate Abfragen aus der Betriebssoftware möglich sind.

Trotz der inhomogenen Betriebsstichprobe kann festgestellt werden, dass in den bewerteten Schweinehaltungsbetrieben die Erfassung der Tierverluste, die Gesundheitsprophylaxe, die Separierung erkrankter Ferkel, fehlende Komfort- und Thermoregulationseinrichtungen, ungeeignete Beschäftigungsmöglichkeiten sowie das Stallklima die zu bemängelnden Einflussbereiche darstellten.

In der Ferkelaufzucht und Mast auftretende Verhaltensstörungen (bisher nur ein Kontrollpunkt), wie z. B. das Schwanz- und Ohrenbeißen, könnten zukünftig über eine Abfrage von Haltungs- und Managementfaktoren (z. B. Umgruppierungen, Futterumstellung), die für das Auftreten der Störung verantwortlich sind, umfassender festgestellt werden.

Derzeitig werden separate und erweiterte Checklisten für die einzelnen Produktionsbereiche der Schweinehaltung (Sauen bei der Abferkelung, im Deckzentrum und im Wartestall, Eberhaltung, Ferkelaufzucht und Mastschwein) neu erstellt und in Schweinehaltungsbetrieben überprüft.

Die Erhebungen berücksichtigen folgende Aspekte:

- einheitliche Stichproben unter Berücksichtigung der Betriebs-/ Bestandsgrößen je Haltungsverfahren
- Vergleich mit Haltungsverfahren, die bereits im Nationalen Bewertungsrahmen für Tierhaltung theoretisch bewertet wurden
- Vergleich bzw. Abgleich mit weiteren Erfassungssystemen (zu einzelnen Indikatoren und Abfragen)
- Erfassung des konkreten Mangels (wenn eindeutig feststellbar), der zur Nichterfüllung des Kontrollpunktes führte.

Literatur

- BÄHR, H.; SCHRÖDER, G.; ODIN, H.-U.:
Bauhygienische Meßmethoden. In: KURZWEG, W. und WINKLER, K. (Hrsg.): Angewandte Tierhygiene. Bd. 8, 1. Aufl., Jena (1983)
- HAUSLEITNER, A.; TRUSCHNER, K.:
Kannibalismus in der Ferkelaufzucht. DVG-Fachtagung „Tierschutz – Agrarwende und Heimtiere“, März 7-9, 2002. Nürtingen (2002), 95-102
- HOPPENBROCK, K.-H.:
Hohe Ferkelverluste im Düsser Ökostall. Top agrar (Spezialprogramm Schweineproduktion) **2** (2002), 4
- HOPPENBROCK, K.-H.; LATKA, S.; LÜCKER, H.-J.:
Ökologische Schweinehaltung – erste Erfahrungen und Ergebnisse 2000/2001 (2004)
http://www.duesse.de/schweine/oeko_erfahrung.htm
- HOY, S.; VON BORELL, E.; RICHTER, T.; SUNDRUM, A.:
Das HACCP-Programm in der Schweinehaltung – Kritische Kontrollpunkte (CCP) aus der Sicht der Tiergesundheit. Züchtungskunde **76** (2004), 367-380
- IŞIK, K.:
Untersuchungen zur präbiotischen Wirkung von Lactulose auf die Mikroflora des Magen-Darm-Traktes von Sauen im peripartalen Zeitraum. Diss. med. vet., Universität Leipzig (2004)
- LWZ (LANDWIRTSCHAFTSZENTRUM) HAUS DÜSSE:
Berichte und Versuchsergebnisse aus der Schweinehaltung 2002 (2003)
http://www.duesse.de/jahresbericht/2002/referat_iv.htm
- LWZ HAUS DÜSSE:
Berichte und Versuchsergebnisse aus der Schweinehaltung 2003 (2004)
http://www.duesse.de/jahresbericht/2003/referat_iv.htm
- LAHRMANN, K.H.; BREMERMAN, N.; KAUFMANN, O.; DAHMS, S.:
Gesundheit, Mastleistung und Fleischqualität von Schweinen in der Stall- und Freilandhaltung – ein kontrollierter Feldversuch. Dtsch. tierärztl. Wschr. **111** (2004), 205-208
- MOINARD, C.; MENDEL, M.; NICOL, C.J.; GREEN, L.E.:
A case control study of on-farm risk factors for tail biting in pigs. Appl. Anim. Behav. Sci. **81** (2003), 333-355
- SCHÄFFER, D.; VON BORELL, E.:
Tiergerechtes Handling von Schlachtschweinen – 1. Kontrollpunkte für die Transportdurchführung. Fleischwirtsch. **82** (2002a) 9, 41-46
- SCHÄFFER, D.; VON BORELL, E.:
Tiergerechtes Handling von Schlachtschweinen – 2. Kontrollpunkte für das Entladen von Transportfahrzeugen. Fleischwirtsch. **82** (2002b) 10, 22-26
- SCHÄFFER, D.; VON BORELL, E.:
Tiergerechtes Handling von Schlachtschweinen – 3. Kontrollpunkte für den Ruhestall. Fleischwirtsch. **82** (2002c) 11, 51-56
- SCHÄFFER, D.; VON BORELL, E.:
Tiergerechtes Handling von Schlachtschweinen – 4. Kontrollpunkte für den Zutrieb zur Betäubung. Fleischwirtsch. **83** (2003) 2, 17-24
- SCHÄFFER, D.; VON BORELL, E.:
Tiergerechtes Handling von Schlachtschweinen – 5. Kontrollpunkte für die CO₂-Betäubung. Fleischwirtsch. **84** (2004) 2, 22-29

- SCHÄFFER, D.; VON BORELL, E.:
Handling von Schlachtschweinen. 6. Kontrollpunkte für das Verladen und die Transportvorbereitung im Mastbetrieb – Teil 1. Fleischwirtsch. **87** (2007a) 2, 23-27
- SCHÄFFER, D.; VON BORELL, E.:
Handling von Schlachtschweinen. 6. Kontrollpunkte für das Verladen und die Transportvorbereitung im Mastbetrieb – Teil 2. Fleischwirtsch. **87** (2007b) 3, 71-77
- SCHRADER, L.; BÜNGER, B.; MARAHRENS, M.; MÜLLER-ARNKE, I.; OTTO, C.; SCHÄFFER, D.; ZERBE, F.:
Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren – Aspekt Tiergerechtigkeit. 38. Internat. Arbeitstagung Angewandte Ethologie bei Nutztieren, 23.-25. November 2006, Freiburg (Brsg.). In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung, KTBL-Schrift **448** (2006a), 41-50
- SCHRADER, L.; BÜNGER, B.; MARAHRENS, M.; MÜLLER-ARNKE, I.; OTTO, C.; SCHÄFFER, D.; ZERBE, F.:
Konzept für die Bewertung der Tiergerechtigkeit. In: KTBL (Hrsg.): Nationaler Bewertungsrahmen für Tierhaltungsverfahren – Methode zur Bewertung von Tierhaltungsverfahren hinsichtlich Umweltwirkungen und Tiergerechtigkeit. KTBL-Schrift **446** (2006b), 141-149
- SCHWARTING, G.; KLEINER, B.:
Nürtinger System – Schweineproduktion im Jahr 2000. Schweinewelt **19** (1994) 5, 32-42
- SCHWARTING, G.; PESCHEL, I.; FERLE, S.; CLAUSEN, C.:
Ferkelhütten im Außenbereich. Landtechnik **5** (2001), 355
- STALLJOHANN, G.; LÜCKER, H.-J.; SCHOLZ, T.:
Ökoschweinehaltung mit Licht und Schatten. Landw. Wochenblatt Westfalen-Lippe **23** (2003), 28-29
- TROXLER, J.; MENKE, C.; AG SELBSTEVALUIERUNG TIERSCHUTZ SCHWEIN:
Grundlage zur Selbstevaluierung Tierschutz. Checkliste und Handbuch für die Schweinehaltung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit und Frauen (2005)
- VON BORELL, E.; VAN DEN WEGHE, S.:
Erarbeitung von messbaren Kriterien für die Einschätzung von Haltungsverfahren für Rinder, Schweine und Legehennen bezüglich ihrer Tiergerechtigkeit und Umweltwirkung. Züchtungskunde **71** (1999), 8-16
- VON BORELL, E.; BOCKISCH, F.-J.; BÜSCHER, W.; HOY, S.; KRIETER, J.; MÜLLER, C.; PARVIZI, N.; RICHTER, T.; RUDOVSKY, A.; SUNDRUM, A.; VAN DEN WEGHE, H.:
Critical control points for on-farm assessment of pig housing. Livest. Prod. Sci. **72** (2001), 177-184
- VON BORELL, E.; SCHÄFFER, D.; HÖVER, K.; KIRSCHSTEIN, T.:
Beurteilung der Tiergerechtigkeit von Schweinehaltungssystemen in Betrieben mit unterschiedlichen Produktionsstufen und Bestandsgrößen anhand des Konzepts der Kritischen Kontrollpunkte. In: Artgerechte Tierhaltung in der modernen Landwirtschaft – Diskussion neuer Erkenntnisse, Schriftenreihe der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Frankfurt, Bd. **17** (2002), 105-130
- VON BORELL, E.; HERRMANN, H.-J.; KNIERIM, U.; MÜLLER, C.; RICHTER, TH.; SANFTLEBEN, P.; SCHÄFFER, D.; SCHULZE V.; SUNDRUM A.:
Kritische Kontrollpunkte (CCP) in der Rinderhaltung – ein Konzept zur betrieblichen Eigenkontrolle für die Bereiche Tierschutz, Tiergesundheit und Management. Züchtungskunde **79** (2007), 329-338
- WALTER, J.; POSTLER, G.:
Tiergerechtheitsindex für Sauen und Mastschweine. In: SUNDRUM, A.; ANDERSSON, R.; POSTLER, G. (Hrsg.): Tiergerechtheitsindex – 200. Ein Leitfaden zur Beurteilung von Haltungssystemen. Bonn (1994), 56-72

Autoren:

Prof. Dr. EBERHARD VON BORELL*

Dr. DIRK SCHÄFFER

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Adam-Kuckhoff-Straße 35

06108 Halle (Saale)

Deutschland

*korrespondierender Autor

E-Mail: eberhard.vonborell@landw.uni-halle.de

GERHARD FLACHOWSKY

Wie kommen wir zu CO₂-Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft?

Abstract

Title of the paper: **How do we receive CO₂-footprints for food of animal origin?**

The environmental assessment of human activities is a hot topic presently. It is not only important from the environmental view, but also from the view of efficient utilization of limited natural resources, such as fuel, area, water, phosphorus and other resources. Presently so-called CO_{2Eq}-footprints are deduced for food to quantify their environmental impact. The objective of the paper is to develop such footprints for food of animal origin and to show present weaknesses. On the bases of the emissions (carbon dioxide, methane, laughing gas) during crop production, transportation, storing and processing of feeds, animal keeping, enteric losses in animals and during excrement management and under consideration of the global warming potential of the gases (CO_{2Eq}) CO₂-footprints for production of milk, beef, pork, poultry meat and eggs are deduced and compared with some references. Apart from food the emission are also calculated on the base of edible protein of animal origin. Finally conclusions for further research need are given. CO_{2Eq}-footprints may contribute to the assessment of greenhouse gas emissions of food of animal origin, but further factors as utilization of grassland and by-products or conservation of the countryside must be also considered for a complex assessment of various production systems.

Keywords: CO₂-footprint, milk, meat, eggs, food chain, greenhouse gases, edible protein

Zusammenfassung

Die Bewertung umweltrelevanter menschlicher Aktivitäten prägt unsere Zeit und ist nicht nur aus Sicht möglicher Umweltwirkungen, sondern auch aus Sicht einer effektiven Nutzung begrenzt verfügbarer natürlicher Ressourcen, wie z.B. fossile Energieträger, Nutzfläche, Wasser, Phosphor und anderer Rohstoffe, dringend erforderlich. Bei der Bewertung von Lebensmitteln wird gegenwärtig angestrebt, durch CO₂-Footprints (Fußabdrücke) die Umweltrelevanz zu quantifizieren. Im Beitrag wird versucht, derartige Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft abzuleiten und die gegenwärtigen Grenzen aufzuzeigen. Ausgehend von den Emissionen (Kohlendioxid, Methan, Lachgas) beim Futterbau, bei Transport, Lagerung, Verarbeitung der Futtermittel, bei der Tierhaltung und bei den Umsetzungen im Tier sowie beim Exkrementmanagement und unter Berücksichtigung der Treibhausgasäquivalente (CO_{2Äq}) werden im Beitrag CO_{2Äq} für die Erzeugung von Milch, Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch sowie Eier abgeleitet und mit verfügbarer Literatur verglichen. Neben den Produkten werden die Emissionen auch auf essbares Protein bezogen. Abschließend wird zur besseren Qualifizierung der Zusammenhänge Forschungsbedarf abgeleitet. CO_{2Äq}-Footprints können zu einer gewissen Bewertung klimarelevanter Emissionen bei der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft beitragen, in eine Gesamtbewertung der verschiedenen Erzeugungsformen müssen jedoch weitere Faktoren einfließen (z.B. Nutzung von absolutem Wiederkäuerfutter und von Nebenprodukten, Landschaftspflege durch Nutztiere u. a.).

Schlüsselwörter: CO₂-Fußabdruck, Milch, Fleisch, Eier, Nahrungskette, Treibhausgase, essbares Protein

Einleitung

Im Ergebnis der Industrialisierung und der weiter ansteigenden Erdbevölkerung wird verstärkt auf fossile Kohlenstoff-(C)-Quellen zurückgegriffen, so dass global die Kohlenstoffdioxid-(CO₂)-Konzentration in den zurückliegenden Jahren deutlich angestiegen ist und ein weiterer Anstieg erwartet wird (Abbildung 1). Der gegenwärtige Anstieg beträgt $\approx 1,9$ ppm CO₂ bzw. 0,5 % pro Jahr.

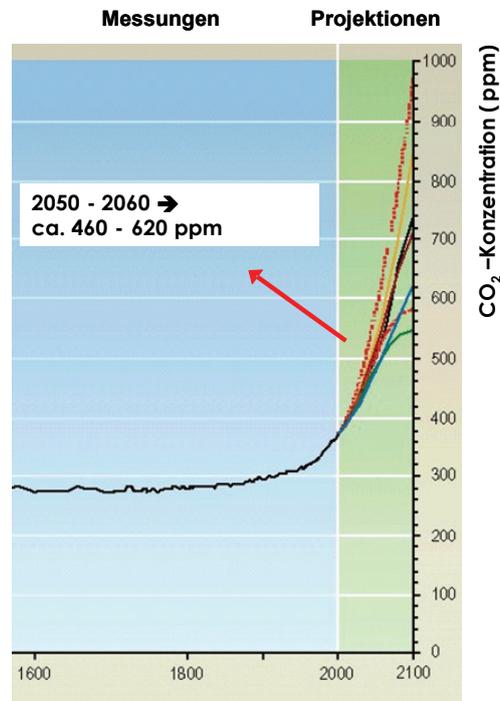


Abb. 1: Entwicklung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre nach verschiedenen Projektionen (nach IPCC, 2006)

CO₂ gehört zu den Treibhausgasen (klimarelevante Gase), die bei zunehmender Erhöhung in der Atmosphäre infolge der Absorptionsfähigkeit im Infrarot-Spektralbereich die Rückstrahlung von Wärmestrahlung vermindern und so zu einem Anstieg der Temperatur auf der Erde beitragen. Diese Entwicklung drückt sich nach IPCC (2006) u. a. im Anstieg der globalen mittleren Oberflächentemperatur um 0,74 °C im Laufe der vergangenen 100 Jahre und in der Beschleunigung des weltweiten Anstieges des Meeresspiegels aus (1,8 mm/Jahr im Zeitraum 1961 bis 2003; 3,1 mm/Jahr im Zeitraum 1993 bis 2003). Weltweit wird jährlich mit über 30 Mrd. t CO₂-Emissionen gerechnet (s. Tabelle 3). Davon entfallen etwa 85 % auf energiebedingte CO₂-Emissionen (Tabelle 1).

Tabelle 1

Energiebedingte CO₂-Emissionen 2005 in verschiedenen Regionen (nach IEA, 2007 und ISERMAYER et al., 2008)

Region	CO ₂ -Emissionen	
	(Mrd. t/Jahr)	(t/Einwohner und Jahr)
Welt	27,1	4,2
EU-27	4,0	8,1
Deutschland	0,81	9,9
Schweden	0,05	5,6
Niederlande	0,18	11,2
USA	5,8	19,6
Russland	2,3	8,1
China	5,1	3,9
Indien	1,15	1,0
Afrika	0,84	0,9

Neben CO₂ haben auch andere Gase ein Treibhauspotenzial, das deutlich höher als das von CO₂ ist (Tabelle 2). Die Methan-Konzentration in der Atmosphäre beträgt gegenwärtig ≈1,7 ppm mit einem jährlichen Konzentrationsanstieg von ≈0,01 ppm, die von Lachgas wird mit 312 ppb angegeben (BOCKISCH et al., 2000).

Tabelle 2

Treibhauspotenzial von Gasen, die aus der Landwirtschaft emittiert werden (von IPCC 2006 empfohlene Werte)

Treibhausgas	Summenformel	Treibhauspotenzial (CO ₂ =1)
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1
Methan	CH ₄	23
Lachgas	N ₂ O	296

Ammoniak (NH₃), dem auch ein Treibhauspotenzial zugeordnet wird ($3,1 \times \text{CO}_2$), bleibt infolge seiner überwiegend lokalen Bedeutung (nahe des Emittenten) bei den weiteren Betrachtungen unberücksichtigt. Das Erkennen dieser Zusammenhänge führte dazu, die CO₂-Emissionen bzw. die von CO₂-Äquivalenten zu erfassen und eine gewisse Wichtung der Quellen vorzunehmen sowie wirksame Reduzierungsmöglichkeiten zu erarbeiten und anzuwenden. Obwohl im Vergleich zu den energiebedingten Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalten (s. Tabelle 1) der Anteil der Landwirtschaft an den gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland relativ gering ist (z. Z. 65 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr bzw. 6% der Emissionen, Tabelle 3), wird wiederholt die Frage nach Reduzierungspotenzialen gestellt. Global ist diese Frage berechtigt, denn der Anteil der Landwirtschaft an den CO₂Äq-Emissionen wird auf nahezu ein Drittel der Gesamtemissionen geschätzt (Tabelle 3).

Tabelle 3

Treibhausgasemissionen, global und in Deutschland (ISERMEYER et al., 2008)

Region	CO ₂ Äquivalente (Mrd. t/Jahr)			Gesamt	in %
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Welt	31,9	6,0	3,1	41,4	100
davon Landwirtschaft	7,6	3,1	2,6	13,4	32
Deutschland	0,87	0,05	0,06	1,00	100
davon Landwirtschaft	k. A.	0,02	0,04	0,06	6

Die jährliche Zuwachsrate an CO₂-Äquivalenten wird weltweit mit ≈1 Mrd. t angegeben (ISERMEYER et al., 2008). Infolge der Veredelungsverluste bei der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft wird die Frage nach den CO₂-Emissionen vor allem bei diesen Lebensmitteln gestellt. Dadurch soll einerseits eine Information für die Verbraucher gegeben werden, andererseits wird durch Sensibilisierung von Erzeugern und Verbrauchern eine Reduzierung der Emissionen angestrebt. Diese Zusammenhänge können dann bedeutungsvoll werden, wenn der Handel mit Emissionsrechten auch die Landwirtschaft erfasst. Im Beitrag wird versucht, den Wissenstand bezüglich der Emissionen an CO₂-Äquivalenten bei der Erzeugung von Lebensmittel tierischer Herkunft (CO₂-Footprints) zusammenzutragen, mögliche Schwachstellen und entsprechenden Forschungsbedarf aufzuzeigen sowie auf vorhandene Reduzierungspotenziale hinzuweisen. Derartige komplexe Studien scheinen dringend erforderlich, da verschiedene Einrichtungen (z. B. DEFRA, 2006) bzw. Autoren (s. Tabelle 4) trotz unzureichender Datenbasis bereits „präzise“ Angaben über Klimabilanzen für Lebensmittel tierischer Herkunft bereitstellen. Solche Bewertungen beim gegenwärtigen Wissenstand sind nicht unproblematisch, da dadurch der Eindruck entstehen kann, dass:

- ausreichend Primärdaten zur Bewertung vorhanden sind und kein weiterer Forschungsbedarf besteht
- vorschnelle (und vielleicht falsche) Schlussfolgerungen zur ökologischen Be-/Verurteilung verschiedener Lebensmittel tierischer Herkunft bzw. ihrer Produktionsform vorgenommen werden können.

Verschiedene Details der in Tabelle 4 dargestellten Zahlen wurden kürzlich bewertet (FLACHOWSKY, 2008b).

Tabelle 4

„Klimabilanz“ für Lebensmittel tierischer Herkunft aus konventioneller und ökologischer Landwirtschaft beim Einkauf im Handel (nach Öko-Institut Darmstadt, FRITSCHKE und EBERLE, 2007/HEISSENHUBER, 2008)

	CO ₂ -Äquivalente in g/kg Produkt	
	konventionell	ökologisch
Milch	940 / 826	883 / 843
Rindfleisch	13311 / 10066	11374 / 10223
Schweinefleisch	3252 / 4109	3039 / 4965
Geflügelfleisch	3508 / 1978	3039 / 2846
Eier	1931 / 1724	1542 / 1592

Material und Methoden

Für derartige Kalkulationen sind Kenntnisse bzw. nachvollziehbare Ableitungen entlang der gesamten Nahrungskette (Wertschöpfungskette) erforderlich (Abbildung 2).

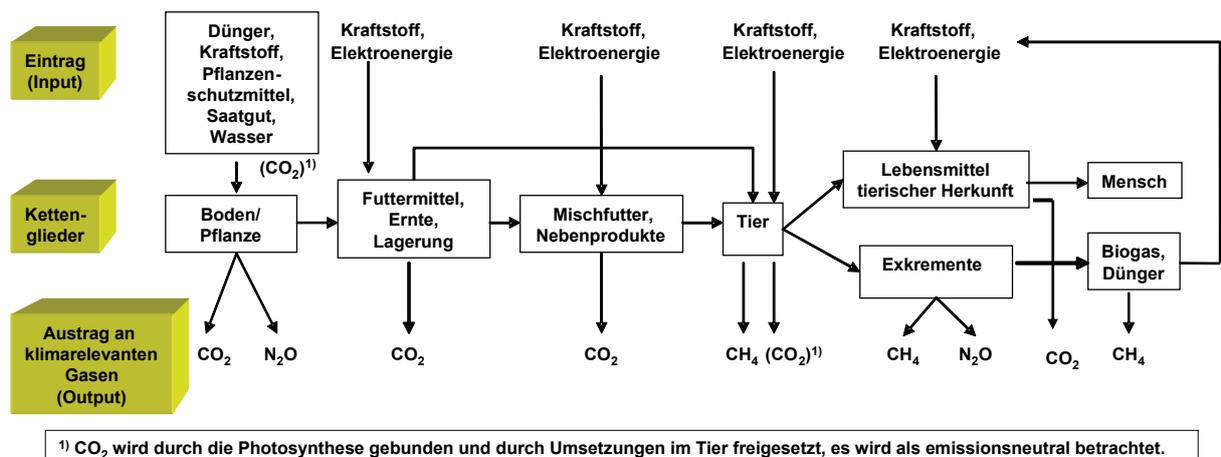


Abb. 2: Wesentliche Elemente des Nahrungskettengliedes „Lebensmittel tierischer Herkunft“ sowie ausgewählte Einträge von Ressourcen und Austräge von klimarelevanten Gasen

Eigentlich ist der Begriff der Kette – obwohl er schon relativ komplex erscheint – für die Erfassung aller Zusammenhänge nicht komplex genug und sollte durch Netzwerk ersetzt werden. Dadurch kann die Vernetzung der Lebensmittelerzeugung noch besser verdeutlicht werden, die Quantifizierung verschiedener Zusammenhänge wird jedoch deutlich komplizierter.

Bei der Darstellung der Ein- und Austräge entlang der Nahrungskette wird auf verfügbare Literaturquellen zurückgegriffen (z.B. BOCKISCH et al., 2000; WECHSELBERGER 2000; WOITOWICZ 2007). Die quantifizierbaren Austräge werden zu CO₂-Äquivalenten (CO₂Äq, CH₄ × 23; N₂O × 298, s. Tabelle 2) umgerechnet und in ihrer Gesamtheit als Treibhausgaspotenzial ausgedrückt. Indirekte Aufwendungen, wie z.B. für die Werkstoffherstellung, die Fertigung von Maschinen und technischen Ausrüstungen, die Baustoffherstellung und der Bau von Gebäuden und Anlagen

(sog. Vorleistungsbereiche der Landwirtschaft) bleiben bei den vorgenommenen Kalkulationen in Übereinstimmung mit den von BOCKISCH et al. (2000) aufgelisteten Gründen unberücksichtigt. Die Emissionen aus Transport, Schlachtung, Verarbeitung, Lagerung, Kühlung und Aufbereitung der Lebensmittel tierischer Herkunft im Haushalt fließen in die vorgenommenen Kalkulationen ebenfalls nicht ein, da sie sich ausschließlich auf die agrarische Primärproduktion beziehen. Damit sind die Systemgrenzen der vorgenommenen Kalkulationen weitgehend charakterisiert.

Die Höhe des Futtereinsatzes und die Leistungshöhe der Lebensmittel liefernden Tiere sind wesentliche Kriterien für die nährstoffökonomische und ökologische Bewertung der Lebensmittelerzeugung. Da die Erzeugung von essbarem Protein tierischer Herkunft das Hauptziel der Nutztierhaltung in Europa darstellt, wird diesem Parameter bei der Kalkulation entsprechender Aufwandsdaten besondere Aufmerksamkeit gewidmet (s. Tabelle 5). Die Bezugsbasis essbares Protein hat auch den Vorteil der unmittelbaren Vergleichbarkeit der verschiedenen Formen der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft.

Tabelle 5

Produktion von essbarem Protein tierischer Herkunft mit verschiedenen Tierarten/-kategorien und N-Ausscheidung in Abhängigkeit von der Leistungshöhe (nach FLACHOWSKY, 2002)

Proteinquelle (Lebendmasse)	Leistung je Tag	Futтераufnahme		Essbare Fraktion (%)	Proteingehalt in essbarer Fraktion (g/kg FM)	Essbares Protein		N-Ausscheidung	
		Höhe (kg T/Tag)	GF:KF (auf T- Basis, %)			g/Tag	g/kg LM	kg/kg essbares Protein	% der N- Aufnahme
Milchkuh (650 kg)	10 kg Milch	12	90:10	95	34	323	0,5	0,65	75
	20 kg Milch	16	75:25			646	0,9	0,48	70
	40 kg Milch	25	50:50			1292	2,0	0,35	65
Milchziege (60 kg)	2 kg Milch	2	80:20	95	36	68	1,1	0,40	70
	5 kg Milch	2,5	50:50			170	2,8	0,23	60
Mastrind (350 kg)	500 g LMZ	6,5	95:15	50	190	48	0,12	2,5	90
	1000 g LMZ	7	85:15			95	0,24	1,6	84
	1500 g LMZ	7,5	70:30			143	0,36	1,2	80
Mastschwein (80 kg)	500 g LMZ	1,8	20:80	60	150	45	0,55	0,8	85
	700 g LMZ	2	10:90			63	0,8	0,7	80
	900 g LMZ	2,2	0:100			81	1,0	0,6	75
Mastküken (1,5 kg)	40 g LMZ	0,07	10:90	60	200	4,8	3,2	0,4	70
	60 g LMZ	0,08	0:100			7,2	4,8	0,3	60
Legehenne (1,8 kg)	50% LL	0,10	20:80	95	120	3,6	2,0	0,6	80
	70% LL	0,11	10:90			5,1	2,8	0,35	65
	90% LL	0,12	0:100			6,6	3,7	0,2	55

GF = Grundfutter, KF = Kraftfutter, LM = Lebendmasse; LMZ = Lebendmassezunahme, LL=Legeleistung

Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden exemplarisch einige Emissionsquellen dargestellt und die Emissionen je Produkt quantifiziert. Dabei wird zwischen betriebsmittelbedingten Emissionen beim Pflanzenbau, bei Futterlagerung und -bearbeitung und in der Tierhaltung, tierbedingten Emissionen und Emissionen beim Exkrementmanagement unterschieden.

Betriebsmittelbedingte Emissionen

Der Umfang der betriebsmittelbedingten Emissionen hängt von der Intensität des Landbaus und dabei vor allem von der Düngungsintensität ab. Bei Bezug auf das

Produkt (je t bzw. kg Trockensubstanz, T), das in vorliegender Ausarbeitung die Basis ist, hat die Ertragshöhe erheblichen Einfluss auf die Höhe der Emissionen. Verschiedene Autoren vergleichen unterschiedliche Bewirtschaftungssysteme, wie z. B. ökologischen und herkömmlichen Landbau (s. auch Tabelle 4). KÜSTERMANN et al. (2007) ermittelten je t Winterweizen CO₂-Emissionen aus fossiler Energie im Mittel von 120 (Ökolandbau) und 136 kg (konventioneller Landbau), wobei zwischen einzelnen Betrieben sehr große Abweichungen auftraten. Unter Berücksichtigung der C-Speicherung im Humus und der N₂O-Emission betrug beispielsweise das Treibhauspotential je t Winterweizen 496 (-102 bis 958) kg bei Ökolandbau und 355 (213 bis 545) kg CO₂-Äquivalente bei konventionellem Landbau (ISERMEYER et al., 2008).

In Tabelle 6 sind Mittelwerte nach verschiedenen Autoren dargestellt. Dabei zeigte sich, dass Grundfutter im Mittel (0,15 kg/kg T) mit geringeren und Kraftfutter mit höheren Betriebsmittel-bedingten Emissionen (0,29 kg/kg T im Mittel aller Werte) erzeugt wird.

Tabelle 6

CO₂-Emissionen aus betriebsmittelbedingten Quellen für verschiedene Futtermittel nach verschiedenen Autoren

Futtermittel	CO ₂ -Emission (kg/kg T)	Autor
<i>Gundfutter</i>		
Weide/Gras	0,10	KRAATZ et al., 2006
	0,07 (ÖL) ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
	0,22 ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
	0,12-0,15	KIM und DALE, 2004
Grassilage	0,17	KRAATZ et al., 2006
	0,24 ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
	0,09 (ÖL) ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
Maissilage	0,15	KRAATZ et al., 2006
	0,09 (ÖL) ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
	0,15 ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
Heu	0,19	KRAATZ et al., 2006
	0,09 (ÖL) ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
	0,25 ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
<i>Konzentrate</i>		
Triticale	0,20	KRAATZ et al., 2006
Mais	0,25-0,29	KIM und DALE, 2004
Gerste	0,21 (ÖL)	BOCKISCH et al., 2000
	0,32 ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
Weizen	0,19 (ÖL) ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
	0,31 ¹⁾	BOCKISCH et al., 2000
	0,27	ABEL, 1996
	0,50 (ÖL) ¹⁾	KÜSTERMANN et al., 2007
	0,36 ¹⁾	KÜSTERMANN et al., 2007

¹⁾ CO₂Äq

Futterlagerung und -bearbeitung

Relativ wenige belastbare Studien liegen zum CO₂-Austrag bei verschiedenen Verfahren der Futterlagerung und -aufbereitung vor (FEIL, 2005). Kürzlich berichteten LÖWE und ZWART (2008) vom Einfluss verschiedener Futterphosphate (Mono [MCP]- und Di-Calcium-Phosphat [DCP]) auf den Energieverbrauch bei der Vermahlung und Pelletierung. Dabei zeigte sich für MCP ständig der höchste spezifische Energieverbrauch bei der Pelletierung, unabhängig vom Grad der Vermahlung oder der Dampfbehandlung.

Wenig umfangreich ist die Datenbasis bezüglich der Aufwendungen bzw. Schadgasemissionen bei der Futtertrocknung, Vermahlung und Mischfutterherstellung. In Anlehnung an BOCKISCH et al. (2000) werden für die Getreidevermahlung 6,6 kWh Strom bzw. ≈ 5 kg CO₂/t unterstellt, für die Mischfutterherstellung werden 2,2 kWh bzw. $\approx 1,5$ kg CO₂/t berücksichtigt. Für den Energiebedarf für die Getreidetrocknung werden 3,9 kWh Strom und 7,5 l Heizöl bzw. ≈ 30 kg CO₂/t verwendet. Für die Trocknung von Nebenprodukten der Lebensmittelerzeugung, wie Kartoffeleiweiß, Bierhefe, Schlempe oder Rübenschnitzel werden 200 l Diesel und 150 kWh/t bzw. ≈ 850 kg CO₂/t unterstellt.

Tierhaltung

Bezüglich der Tierhaltung wird in direktem Energieaufwand bzw. direkte Emissionen und indirekte Angaben unterschieden. Nach verschiedenen Quellen (Zusammenfassung bei BRUNSCH et al., 2008) variiert der Energieaufwand für Milchentzug, -lagerung und Reinigung der Anlage zwischen 18 bis 22 MJ/100 kg FCM für konventionelle Melksysteme und ist für automatische Melksysteme um 2 bis 4 MJ/100 kg FCM höher. Bei Unterstellung einer CO₂-Emission von ≈ 200 g/MJ Elektroenergie (BOCKISCH et al., 2000) entspricht der Energieeinsatz 3,6 bis 4,4 kg CO₂/100 kg FCM bzw. ≈ 40 g CO₂/kg FCM. Der individuelle Energieaufwand bzw. die CO₂-Emission, z.B. für Gebäude, Einrichtungen und Melktechnik umfasst nur etwa ein Hundertstel der direkten Werte (BRUNSCH et al., 2008) und wird bei den weiteren Betrachtungen vernachlässigt. Nach HEA (1996) entfallen $\approx 60\%$ des Gesamtenergieverbrauches in der Milchviehhaltung auf die Milchgewinnung, $\approx 35\%$ auf die Fütterung, $\approx 2\%$ auf die Entmistung und $\approx 3\%$ auf die Beleuchtung. In der Sauenhaltung werden 1% für Reinigung, 1% für Entmistung, 5% für Beleuchtung, 11% für Stallklima, 12% für Fütterung und 70% für die Ferkelnestbeheizung aufgewendet. Weitere Details zum Energieeinsatz in der Tierhaltung können BOCKISCH et al. (2000) entnommen werden.

Tierbedingte Emissionen

Methan (CH₄)

Es ist allgemein anerkannt, dass Methan als natürliches Nebenprodukt der mikrobiellen Fermentation im Pansen von Wiederkäuern anfällt. In Abhängigkeit von der Rationsgestaltung können 4 bis 10% der Bruttoenergie bzw. 15-40 g CH₄/kg T-Aufnahme entstehen (Tabelle 7). Da wir kürzlich (FLACHOWSKY und BRADE, 2007) in einem Review auf Methanbildung und Einflussfaktoren detailliert eingegangen sind, sollen hierzu keine weiteren Ausführungen folgen. Verschiedene Autoren halten es für realistisch, durch unterschiedliche Maßnahmen die Methanemission aus dem Verdauungstrakt der Wiederkäuer um bis zu 30% zu reduzieren (z.B. Zusammenfassung bei FLACHOWSKY und BRADE, 2007; JOUANY, 2008; KREUZER und SOLIVA, 2008). Auf Möglichkeiten zur Reduzierung der Methanbildung bei den anaeroben Umsetzungen im Verdauungstrakt und bei der Exkrementlagerung wird im Abschnitt „Forschungsbedarf“ näher eingegangen. Bedingt durch das hohe Treibhauspotenzial (s. Tabelle 2) belastet CH₄ die CO₂-Footprints der von Wiederkäuern stammenden Lebensmittel ganz erheblich (s. Tabelle 11 und Abbildung 5).

Tabelle 7

Methanbildung je kg Futtertrockensubstanz in Abhängigkeit von der Rationsgestaltung der Wiederkäuer (nach verschiedenen Literaturquellen)

Kraftfutteranteil (%)	% der Bruttoenergieaufnahme	g/kg Trockensubstanz
0	8-10	25-40
50	6-8	20-25
90	4-6	15-20

Lachgas (N₂O)

Lebensmittelliefernde Tiere scheiden selbst kein N₂O aus. Etwa 90% des in die Atmosphäre gelangenden N₂O wird in den Boden bei mikrobiellen Umsetzungen aus Nitrat und Ammonium gebildet (Abbildung 3).

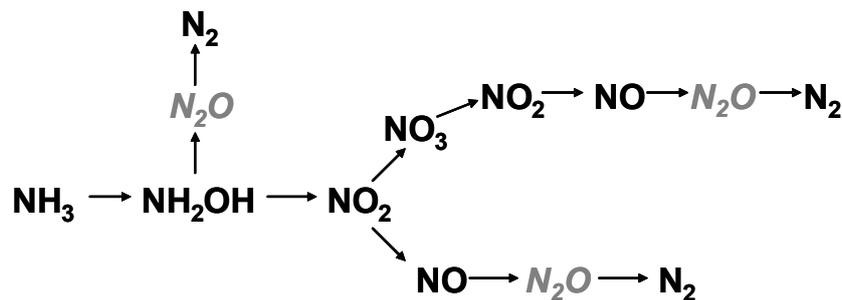


Abb. 3: Lachgasbildung (N₂O) aus Ammoniak (NH₃) (nach WRAGE et al., 2001)

Der Anteil des Stickstoffes, der als Lachgas emittiert wird, hängt u. a. von N-Quelle (Abbildung 4), Bodenart, Feuchte, Temperatur und Bodenbewirtschaftung ab. Außerdem kann Stickstoff, der aus dem Boden als Nitrat eingetragen und verfrachtet wird, später an anderen Stellen zu Lachgasemissionen führen.

Insgesamt ist einzuschätzen, dass hohe Stickstofffrachten mit hoher Wahrscheinlichkeit zu hohen Lachgasemissionen führen. Für quantitative Abschätzungen wird zumeist der IPCC-Richtwert (IPCC, 2006) zugrunde gelegt, nach dem 1,25% des ausgebrachten N als N₂O-N emittiert werden, wohl wissend, dass die N₂O-Emissionen bei weidenden Tieren (OENEMA et al., 2005; DI et al., 2007) oder Gülledüngung (POGGEMANN, 2001) deutlich höher sein können als nach Mineraldünger-Gaben (AMBUS et al., 2007; DE KLEIN und ECKARD, 2007; JONES et al., 2007; VON GROENINGEN et al., 2005a, b). CRUTZEN et al. (2007) geben einen Schätzwert von ≈4% N₂O-N des gedüngten N an und berücksichtigen dabei ebenfalls die jenseits der gedüngten Flächen anfallenden Lachgasmengen. Die N₂O-Emissionen bei Weidehaltung können zwischen 1,4 und 9,8% der ausgeschiedenen N-Menge variieren (BOCKISCH et al., 2000). Über weitere Details der Lachgasbildung und zur Reduzierung der N-Ausscheidungen bei lebensmittelliefernden Tieren haben wir kürzlich zusammenfassend informiert (FLACHOWSKY und LEBZIEN, 2007).

Prinzipiell ist einzuschätzen, dass aus Geflügelexkrementen infolge des Harnsäureanteils im Harn weniger Lachgas entsteht als aus Exkrementen, die im Harn Harnstoff enthalten (s. Abbildung 4; OSADA et al., 2007). Da bei Geflügel auch kaum Methan anfällt, resultieren deutlich geringere CO₂Äq bei Lebensmitteln von Geflügel, wie Tabellen 13 und 14 sowie Abbildung 5 zeigen.

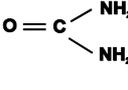
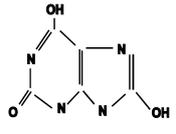
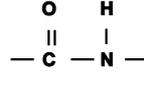
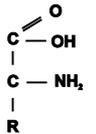
N-Quelle					Sonstige
	Harnstoff	Harnsäure	Peptide, Proteine	Aminosäuren, Biogene Amine	Kreatinin, Hippursäure, Allantoin u.a.
Vorkommen	Harn	Geflügelharn (≈ 75 % des NPN)	Kot	Kot, Harn	Harn, Kot
Prozent der gesamten N-Ausscheidung	40 - 80	40 - 60	30 - 50	0 - 5	1 - 10
Enzyme zum Abbau	Urease	Uricase	Proteasen, Desaminasen	Desaminasen	verschiedene Enzyme
NH ₃ -Bildung	sehr schnell	langsam	langsam	schnell	langsam bis schnell
Einflussfaktoren auf die NH ₃ -Bildung	pH, Temperatur, Zeit	Temperatur, Zeit, Feuchte	Temperatur, Zeit, Feuchte	Temperatur, Zeit, Feuchte	Temperatur, Zeit, Feuchte

Abb. 4: Wichtige N-Quellen in den Exkrementen und deren Neigung zur NH₃-Bildung

CO₂-Footprints

Nach einer Kurzdarstellung der verschiedenen Quellen klimarelevanter Gase, die bei der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft entstehen, wird anschließend die Ableitung von CO₂-Footprints vorgenommen. Solche Kalkulationen werden auch als Ökobilanzen oder Life Cycle Assessments (CLA) bezeichnet.

Derartige Kalkulationen können vorgenommen werden, indem alle Emissionsquellen entlang der Nahrungskette erfasst werden, wie in Tabelle 8 exemplarisch für die Milchkuh gezeigt wird. Der mit 650 g CO₂Äq je kg Milch ausgewiesene Wert (Tabelle 8) liegt im Vergleich zu verschiedenen Literaturangaben (Tabelle 9) relativ niedrig. Neben unterschiedlichen Ausgangsdaten bezüglich der Emissionen können die berücksichtigten Systemgrenzen ebenfalls erheblichen Einfluss auf die CO₂Äq-Footprints ausüben. Wichtige Einflussfaktoren am Beispiel der Milchproduktion sind neben Fütterung und Leistungshöhe der Kühe ihre Nutzungsdauer, die Berücksichtigung der Jungrinder-aufzucht und die -aufzuchtdauer, die Anrechnung des Kalbes oder Kalkulationen zum „Gesamtsystem Rind“ als Milch- und Fleischlieferant.

Tabelle 8

Kalkulation der Emissionen je Milchkuh und Jahr (Parameter: Lebendmasse 650 kg, Milchleistung 8000 kg/Jahr, 1 Kalb/Jahr, nach DÄMMGEN und HAENEL, 2008)

Emissionsquelle	Emissionen (kg/Kuh und Jahr)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Düngerproduktion	210	5,5	1,1
Futtererzeugung	83		1,2
Transport, Behandlung	43		
Pansenfermentation		119	
Fermentation bei Güllelagerung		19	0,9
Emissionen aus Boden, Lagerung, Wasser		-1	1,8
Gesamt	336	143	5
CO ₂ -Äquivalente (t/Kuh und Jahr)		5,2	
(g/kg Milch) ¹⁾		650	

¹⁾ ohne Jungrinderaufzucht und Kalb

Tabelle 9

Angaben zu produktbezogenen CO₂Äq je kg Milch nach verschiedenen Autoren

Bemerkung/Produktionsform	g CO ₂ Äq/kg Milch	Autor
konventionell	990	CEDERBERG und MATTSSON, 2000
ökologisch	942	
konventionell/ökologisch	1300	HAAS et al., 2001
konventionell	888	IEPEMA und PIJNENBURG, 2001
ökologisch	1129	
konventionell	974	ZIJPP, 2001
ökologisch	1129	
konventionell	940	FRITSCHKE und EBERLE, 2007
ökologisch	883	
konventionell ressourcenschonend	745	WOITOWICZ, 2007
konventionell	826	
ökologisch	843	
k. A., s. Tabelle 8	650	DÄMMGEN und HAENEL, 2008

Aus verschiedenen Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass höhere Leistungen in jedem Fall zu einem geringeren CO₂Äq-Footprint je kg Milch führen. Bei der Erzeugung einer bestimmten Menge Milch resultieren aus höheren Leistungen weniger Kühe (Tabelle 10), die auch weniger Kälber und damit weniger Rindfleisch zur Folge haben. Dementsprechend muss mehr Rindfleisch importiert werden, wenn ein bestimmter Verzehr (z. B. ≈10 kg/Einwohner und Jahr) erwartet wird oder andere Formen der Rindfleischerzeugung (z. B. Mutterkuhhaltung) müssen etabliert werden. Daraus resultieren höherer Futtereinsatz und im Rahmen der „Doppelveredlung Milchkuh–Kalb“ höhere Ausscheidungen an CH₄ und N je Produkt, die die Einspareffekte höherer Milchleistungen kompensieren können (Tabelle 10).

Tabelle 10

Einfluss der Leistungshöhe der Milchkühe auf die Austräge (CO₂, CH₄, N₂O) bei der Erzeugung von 1000 t Milch und 30 t Rindfleisch (Lebensmittel vom Wiederkäuer für ≈3000 Menschen) sowie CO₂-Äquivalente je Einwohner und Jahr

Milchleistung (kg/Jahr)	Milchkühe (Anzahl)	Remontierung (%)	Schlachtung (Anzahl)		Rindfleisch (t)	Mutterkühe ³⁾	kg CO ₂ -Äqui- valente je Ein- wohner u. Jahr
			Kühe ¹⁾	Mastbullen/ Färsen ²⁾			
4000	250	25	62	176	40,0	–	410
6000	167	30	50	109	26,3	9	360
8000	125	35	44	75	19,6	26	350
10000	100	40	40	55	15,8	35	360
12000	83	45	37	42	13,4	41	380

¹⁾ 600 kg Schlachtmasse, 50% Fleischertrag (75-135 kg Fleisch/Kuh und Jahr)²⁾ Ein Kalb pro Kuh und Jahr, 5% Verluste, Remontierung bzw. Mast, 1000 g Lebendmassezunahme/Tag³⁾ Kuh/Kalb-Paar, 25% Remontierung ≈400 kg Fleisch/Pair und Jahr

Analoge Kalkulationen wurden für weitere Lebensmittel tierischer Herkunft vorgenommen, wie in Tabelle 11 exemplarisch für die Rindfleischerzeugung in Abhängigkeit von der Lebendmassezunahme der Tiere zeigt.

Ähnlich hohe Schwankungen sind auch den verfügbaren Literaturangaben (Tabelle 12) zu entnehmen, wobei die extrem hohen Daten für die Mutterkuhhaltung herausragen.

Tabelle 11

Beispiele zur Kalkulation der CO₂-Äquivalente bei der Rindfleischerzeugung (150-550 kg LM) in Abhängigkeit vom Futtereinsatz sowie den Methan- und N-Ausscheidungen

LMZ (g/Tag)	Futtermittelaufnahme (kg T/Tier und Tag) ¹⁾	Anteil KF (% der T-Aufnahme) ¹⁾	Methanaus- scheidung (g/kg T)	N-Aus- scheidung (g/Tag)	N ₂ O-Bildung (% der N-Aus- scheidung)	CO ₂ -Äquivalente (kg/kg)		
						LMZ	SLK	ET
500 (überwiegend Weide, kein KF)	6,5	0	26	110	2	11,5	23,0	28,0
1000 (Stallhaltung, Gras- silage, etwas KF)	7,0	15	24	130	1	5,5	11,0	13,8
1500 (Stallhaltung, Mais- silage, KF)	7,5	30	22	150	0,5	3,5	7,0	9,0

LMZ=Lebendmassezunahme, KF=Krafftutter, SLK=Schlachtetierleerkörper, ET=essbare Teile

¹⁾ CO₂-Output: 120 kg/t Grundfutter-Trockensubstanz, 220 kg/t Krafftutter-Trockensubstanz

Tabelle 12

Angaben zu produktbezogenen CO₂Äq je kg Lebendmassezunahme bzw. Schlachtetierleerkörper in der Rindermast nach verschiedenen Autoren

Produktionsform/Leistungshöhe	LMZ	SLK	Autor
	kg CO ₂ Äq/kg		
Integrierte Rindermast	–	8,5	REITMAYR, 1995
Mutterkuhhaltung	–	29,0	
konventionell (125-625 kg)	–	11,5	WECHSELBERGER, 2000
konventionell	–	13,3	FRITSCHE und EBERLE, 2007
ökologisch	–	11,4	
konventionell A	–	10,1	WOITOWICZ, 2007
konventionell B	–	8,7	
ressourcenschonend	–	10,2	
LMZ 500	11,5	23,0	eigene Daten (s. Tabelle 11)
1000	5,5	11,0	
1500	3,5	7,0	

LMZ=Lebendmassezunahme, SLK=Schlachtetierleerkörper

Bei der Fleischerzeugung führt die Bezugsbasis häufig zu Konfusionen und Fehlinterpretationen. Neben der Lebendmassezunahme kann die Schlachtetierleerkörperzunahme oder die Zunahme an essbaren Teilen (Fleisch, essbare Innereien) als Bezugsbasis dienen. Der Bezug auf die Schlachtkörperleermasse ist dabei die realistischste und am meisten verwendete Basis, da diese Daten auf dem Schlachthof gewonnen werden können. In verschiedenen Darstellungen wird der Begriff „Fleisch“ verwendet, der jedoch ebenfalls Schlachtkörperleermasse meint.

Infolge der kaum vorhandenen Methanausscheidungen bei Nichtwiederkäuern sind die CO₂Äq je Tier (Tabelle 13) bzw. je Tierprodukt oder essbares Protein (Tabelle 14) deutlich niedriger als bei Wiederkäuern.

Tabelle 13

Tierbezogene CO₂-Äquivalente aus der konventionellen und ökologischen Nutztierhaltung (HEISSENHUBER, 2008)

	Tierbezogene CO ₂ -Äquivalente (kg-CO ₂ Äq je Tier und Jahr)							
	konventionell				ökologisch			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CO ₂ Äq	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CO ₂ Äq
Milchkuh	2728	1063	1250	5041	2363	834	1020	4216
Rind	1674	972	640	3286	473	805	458	2736
Schwein ¹⁾	84	203	91	378	59	242	133	434
Mastgeflügel ¹⁾	0,2	0,6	1,3	2	0,4	0,8	4,4	6
Legehennen	2	9	17	28	2	4	21	27

¹⁾ bezogen auf die jeweilige Mastdauer; bei Schweinen inkl. der jeweiligen Anteile Ferkel und Sauen (WOITOWITZ, 2007)

Tabelle 14

CO₂-Äquivalente (kg) je kg Produkt bzw. je kg essbares Protein tierischer Herkunft in Abhängigkeit von der Leistungshöhe verschiedener Nutztiere

Proteinquelle	Leistungshöhe je Tag	CO ₂ -Äquivalente (kg)	
		je kg Produkt	je kg Protein
Milch	10 kg	1,0	30
	20 kg	0,55	16
	40 kg	0,4	12
Rindfleisch (SK)	1000 g	11,0	55
	1500 g	7,0	35
Schweinefleisch (SK)	700 g	1,8	12
	900 g	1,5	10
Geflügelfleisch (SK)	40 g	0,8	4
	60 g	0,6	3
Eier	70 % LL	0,6	5
	90 % LL	0,5	4

SK = Schlachttierkörper, LL = Legeleistung

Abbildung 5 zeigt die CO₂Äq je kg essbares Protein und die verschiedenen Emissionsanteile. Dabei fallen die hohen Werte für Wiederkäuerprodukte und der hohe Methananteil besonders auf.

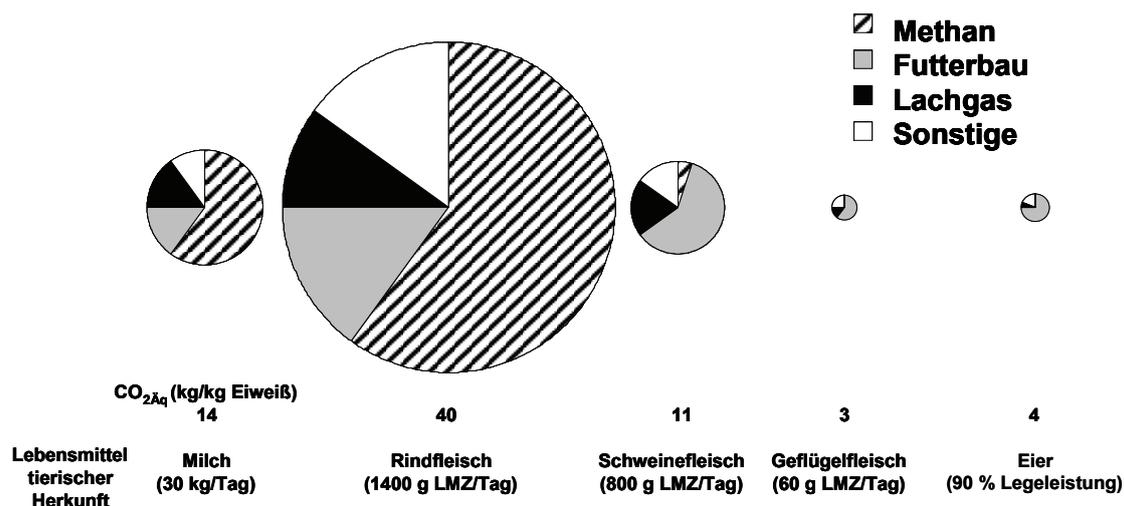


Abb. 5: Anteile (%) der verschiedenen Emissionsquellen an den CO₂-Footprints je kg essbares Protein

Forschungsbedarf

Die vorgenommenen Quantifizierungen zur Ableitung von CO₂-Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft basieren neben Messungen auch auf verschiedenen Festlegungen und z. T. auf Unterstellungen. Zur weiteren Verbesserung der Aussagen derartiger Ökobilanzen wird Forschungsbedarf u. a. auf folgenden Gebieten gesehen:

- Erfassung der Einflussfaktoren auf die Lachgasbildung und bessere Quantifizierung in Abhängigkeit von den Einflussfaktoren
- weitere Quantifizierung der betriebsmittelbedingten Emissionen
- einheitlicher Umgang mit den indirekten Emissionen entlang der Wertschöpfungskette
- Berücksichtigung der Emissionen, die bei der Aufbereitung von Nebenprodukten der Verarbeitungsindustrie als Futtermittel entstehen

- bessere Quantifizierung der Emissionen aus der Mischfutterherstellung und -behandlung (z.B. Pelletierung, Extrudieren)
- Bewertung der Auswirkungen der „modernen“ Biotechnologie auf die Ökobilanz (z.B. CAPPER et al., 2008).

Neben derartigen Studien haben auch Ökobilanzen von komplexen Systemen (z.B. Rind als Milch- und Fleischlieferant sowie zur Landschaftspflege) bzw. Netzwerken zunehmende Bedeutung. Die Standardisierung von Methoden unter Berücksichtigung vielfältiger Einflussfaktoren zur Ermittlung der CO₂-Footprints ist demnach auch eine große Herausforderung für die Forschung. Über entsprechende Reduzierungen wurde wiederholt im Ergebnis von *In-vitro*-Studien berichtet (Zusammenfassung bei FLACHOWSKY und BRADE, 2007; FLACHOWSKY und LEBZIEN, 2007). Durch *In-vitro*-Studien kann allerdings nichts über die Höhe der Futteraufnahme, Gewöhnungseffekte der Pansenmikroorganismen und physiologischer Prozesse im Tier ausgesagt werden.

Beispielsweise erscheint demnach für eine wissenschaftliche Bewertung des Methan-Reduzierungspotenzials verschiedener Maßnahmen ein Drei-Stufen-Programm mit folgenden Schritten erforderlich (FLACHOWSKY, 2008a):

1. Testung der Substanzen *in vitro* (evtl. verschiedene Rationsgestaltungen; geeignet für erstes Screening einer Vielzahl von Substanzen).
2. Prüfung im Vergleich zu un-supplementierter Kontrollgruppe an den Zieltierarten (Einfluss auf Futteraufnahme, Messung der Methanbildung, Einfluss auf Umsetzungen im Pansen u. a.).
3. Langzeitstudien (z.B. gesamte Laktationsperiode, gesamte Mastdauer) mit Substanzen, die in Prüfungsstufe 2 erfolgreich waren, an den Zieltierarten im Vergleich zu un-supplementierten Kontrolltieren (Einfluss auf Methanbildung und Umsetzungen im Pansen im Versuchsverlauf, Einfluss auf Leistungshöhe, Tiergesundheit und Produktqualität).

Forschungsbedarf besteht demnach nicht nur hinsichtlich der besseren Quantifizierung der Emissionen, sondern auch bei der Ausschöpfung möglicher Reduzierungspotenziale und der Auswirkungen bestimmter Reduzierungen auf die Ökobilanz (LOVETT et al., 2006).

Schlussfolgerungen

Bei allem Verständnis für Rufe der Politik nach CO₂-Footprints für Lebensmittel (auch tierischer Herkunft), wie sie bereits in Großbritannien und Schweden vorbereitet werden, ist einzuschätzen, dass beim gegenwärtigen Wissensstand und der Vielzahl von Einflussfaktoren noch umfangreiche Untersuchungen notwendig sind. Die erheblichen Ertrags- und Leistungsschwankungen im Pflanzenbau und der Tierproduktion führen von Jahr zu Jahr zu unterschiedlichen Inputs und Emissionen, so dass die CO₂-Footprints nicht nur zwischen verschiedenen Produktionssystemen, sondern auch zwischen den Jahren in einem System beträchtlich variieren können.

Literatur

- ABEL, H.-J.:
Energieaufwand und CO₂-Ausstoß bei verschiedenen Formen der Lebensmittelerzeugung. Schriftenreihe der Schaumann-Stiftung zur Förderung der Agrarwissenschaften, Hülsenberger Gespräche **16** (1996), 153-161
- AMBUS, P.; PETERSEN, S.O.; SOUSSANA, J.-F.:
Short-term carbon and nitrogen cycling in urine patches assessed by combined carbon-13 and nitrogen-15 labelling. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **121** (2007), 84-92
- BOCKISCH, F.-J.; AHLGRIMM, H.-J.; BÖHME, H.; BRAMM, A.; DÄMMGEN, U.; FLACHOWSKY, G.; HEINEMEYER, O.; HÖPPNER, F.; MURPHY, D.P.L.; ROGASIKI, J.; RÖVER, M.; SOHLER, S.:
Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen, Landbauforschung Völkrode, SH **211** (2000), 206 S.
- BRUNSCH, R.; KRAATZ, S.; BERG, W.; RUS, C.:
Ermittlung der Energieeffizienz in der Tierhaltung auf der Grundlage von Energiebilanzen. *KTBL-Schrift* **463** (2008), 115-125
- CAPPER, L.C.; CASTANEDA-GUTIERREZ, E.; CADY, A.; BAUMAN, D.A.:
The environmental impact of recombinant bovine somatotropin (rbST) use in dairy production. *PNAS* **105** (2008), 9668-9673
- CEDERBERG, C.; MATTON, B.:
Life cycle assessment of milk production – A comparison of conventional and organic farming. *J. Cleaner Prod.* **8** (2000), 250-260
- CRUTZEN, P.J.; MOSIER, A.R.; SMITH, K.A.; WINIWARTER, W.:
N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* **7** (2007), 11191-11205
- DÄMMGEN, U.; HAENEL, H.-D.:
Emissions of greenhouse gases and gaseous air pollutants – a challenge for animal nutrition. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **17** (2008), 163-167
- DEFRA:
Determination the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Defra project report ISO 205. Cranfield Univ., Silsoe Res. Inst. (August 2006), <http://www.cranfield.ac.uk>
- DE KLEIN, C.A.M.; ECKARD, R.J.:
Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Proc. Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conf., Christchurch, New Zealand, 26.-29.11.2007*, (2007), 54 [Abstr.]
- DI, H.J.; CAMERON, K.C.; SHERLOCK, R.R.:
Mitigation of nitrous oxide emissions from different grazed pasture soils using a nitrification inhibitor, *Eco-u. Proc. Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conf., Christchurch, New Zealand, 26.-29.11.2007*, (2007) 48 [Abstr.]
- FEIL, A.:
IFF-Kolloquium 2005 – sind Maßnahmen zur Reduzierung der Energiekosten denkbar? *Aufbereitungs technik* **46** (2005) 11, 52-56
- FLACHOWSKY, G.:
Efficiency of energy and nutrient use in the production of edible protein of animal origin. *J. Applied Animal Res.* **22** (2002), 1-24
- FLACHOWSKY, G.:
Quellen und Reduzierungspotenziale von klimarelevanten Gasen aus der Tierproduktion. *Kraftfutter – Feed Magazine* **1-2** (2008a), 16-25
- FLACHOWSKY, G.:
Treibhausgase und Ressourceneffizienz. *Aspekte der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft. Ernährungsumschau* **55** (2008b), 414-419
- FLACHOWSKY, G.; BRADE, W.:
Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde* **79** (2007), 417-465
- FLACHOWSKY, G.; LEBZIEN, P.:
Lebensmittel liefernde Tiere und Treibhausgase – Möglichkeiten der Tierernährung zur Emissionsminderung. *Übersichten zur Tierernährung* **35** (2007), 191-231
- FRITSCH, R.; EBERLE, U.:
Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln. *Arbeitspapier, Öko-Institut e.V. Darmstadt* (2007), 13 S.

- HAAS, G.; WETTERICH, F.; KÖPKE, U.:
Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in Southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **83** (2001), 43-53
- HEA (Hauptverwaltungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V.):
Strom – Tips für Landwirte. Heidelberg (1996), 14ff.
- HEISSENHUBER, A.:
Ökonomische Aspekte einer energieeffizienten Landwirtschaft. KTBL-Vortragstagung, 08./09.04.2008, Fulda, KTBL-Schrift **463** (2008), 42-53
- IEA (International Energy Agency):
World Energy Outlook (2007), <http://www.iea.org>
- IEPEMA, G.; PIJNENBURG, J.:
Conventional versus organic dairy farming. A comparison of three experimental farms on environmental impact, animal health and animal welfare. MSc thesis, Animal Production Systems Group, Wageningen University, The Netherlands (2001)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change):
2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4, Agriculture, Forestry and other Land use (2006). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006/gl/vol4.htm>
- ISERMEYER, F.; OTTE, A.; CHRISTEN, O.; FROHBERG, K.; HARTUNG, J.; KIRSCHKE, D.; SCHMITZ, M.; SUNDRUM, A.:
Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik, Gutachten, Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft **116** (2008), 198 S.
- JOUANY, J.-P.:
Enteric methane production by ruminants and its control. In: Gut efficiency; the key ingredient in ruminant. Ed. By A. ANDRIEU, D. WILDE, Wageningen Academic Publ. (2008), 35-59
- JONES, S.K.; REES, R.M.; SKIBA, U.M.; BALL, B.C.:
Influence of organic and mineral N-fertilizer on N₂O fluxes from a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **121** (2007), 74-83
- KIM, S.; DALE, B.E.:
Cumulative energy and global warming impact from the production of biomass for biobased products. *J. Industry Ecology* **7** (2008), 147-162
- KRAATZ, S.; BERG, W.; KÜSTERMANN, B.; HÜLSBERGEN, K.J.:
Energy and carbon balancing in livestock keeping. Proc. World Congress: Agricultural engineering for a better world congress Bonn, 03.-07.09.2006, VDI-Berichte Nr. **1958** (2006), 417-418
- KREUZER, M.; SOLIVA, C.R.:
Nutrition: Key to methane mitigation in ruminants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **17** (2008), 168-171
- KÜSTERMANN, B.; KAINZ, M.; HÜLSBERGEN, K.J.:
Modelling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* **23** (2007), 1-16
- LOVETT, D.K.; SHALLOO, L.; DILLON, P.; O'MARA, F.P.:
A systems approach to quantify greenhouse gas fluxes from pastoral dairy production as affected by management regime. *Agric. Syst.* **88** (2006), 156-179
- LÖWE, R.; ZWART, S.:
Technische Aspekte berücksichtigen – Zum Pelletierungsverhalten von Futterphosphaten. *Kraftfutter* **5-6** (2008), 28-34
- LÜTTICH, M.; DÄMMGEN, U.; HAENEL, H.-D.; DÖHLER, H.; EURICH-MENDEN, B.; OSTERBURG, B.:
Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) für 2006. Tabellen, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft **291** (2006)
- MURPHY, D.L.P.; RÖVER, M.:
Betriebsmitteleinsatz: Primärenergieverbrauch und Schadgasemissionen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft **211** (2000), 29-52
- OENEMA, O.; WRAGE, N.; VELTHOF, G.L.; VAN GROENIGEN, J.W.; DOLFING, J.; KUIKMAN, P.J.:
Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **72** (2005), 51-65
- OSADA, T.; TAKEUCHI, M.; HARADA, Y.; MAEDA, K.; MORIOKA, R.:
Greenhouse gas emissions produced by a poultry manure treatment facility using forced aeration composting. Proc. Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conf., Christchurch, New Zealand, 26.-29.11.2007, (2007) 224 [Abstr.]
- POGGEMANN, S.:
N-Applikation und N₂O-Emissionen von Weideland unter variierenden Bedingungen. Diss. Justus-Liebig-Universität, Gießen (2001), 122 S.

REITMAYR, T.:

Entwicklung eines rechnergeschützten Kennzahlensystems zur ökonomischen und ökologischen Beurteilung von agrarischen Bewirtschaftungsformen – Dargestellt an einem Beispiel. Agrarwirtschaft, Frankfurt am Main, Sonderheft **147** (1995)

VAN GROENINGEN, J.W.; KUIKMAN, P.J.; DE GROOT, W.J.M.; VELTHOF, G.L.:

Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. Soil and Biochemistry **37** (2005b), 463-473

WECHSELBERGER, P.:

Ökonomische und ökologische Beurteilung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen und -systeme anhand ausgewählter Kriterien. FAM-Bericht, Aachen (2000), 502 S.

WOITOWICZ, A.:

Auswirkungen einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren – dargestellt am Beispiel konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweisen. Diss., TU München (2007), 237 S.

WRAGE, N.; VELTHOF, G.L.; VAN BEUSICHEM, M.L.; OENEMA, O.:

Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. Soil Biology Biochemistry **33** (2001), 1723-1732

ZIJPP, I.A.J. VAN DER:

Animal production systems: on integration and diversity. Habil.-Schrift, Univ. Wageningen, The Netherlands (2001)

Autor:

Prof. Dr. GERHARD FLACHOWSKY

Institut für Tierernährung

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Deutschland

E-Mail: gerhard.flachowsky@fli.bund.de

¹Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Dummerstorf, Deutschland

²Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock, Rostock, Deutschland

³Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow, Deutschland

WILHELM KANITZ¹, KLAUS-PETER BRÜSSOW¹, ANTKE-ELSABE BUGISLAUS²,
CHRISTA KÜHN¹, WINFRIED MATTHES³ und ANKE WANGLER³

Verbesserung funktionaler Merkmale: Eine Herausforderung zur vertieften Phänotypisierung

Abstract

Title of the paper: **Improvement of functional traits: a challenge for a profound characterisation of phenotypes**

An important breeding progress was reached in milk yield of dairy cattle within the last years. In contrast to that the genetic trend for daughter fertility is negative to constant. Incidence of mastitis in dairy cattle decreased or was constant. The genetic trend for each trait depends on breed and consideration of the trait for estimation of breeding values of bulls. Although in many countries breeding progress was made in regard to the number of vigorous piglets this trait can be increased further. The paper aims to show that an improved characterisation of phenotypes can lead to enhanced selection criterions to improve the above-mentioned functional traits.

Keywords: cattle, pigs, functional traits, fertility, mastitis

Zusammenfassung

In den zurückliegenden Jahren wurden international bedeutende züchterische Fortschritte hinsichtlich der Milchmengenleistung bei Milchrindern erreicht. Demgegenüber ist der genetische Trend für das Merkmal Töchterfruchtbarkeit sinkend bis konstant. Das Merkmal Mastitisinzidenz bei Rindern konnte, international differenziert, konstant gehalten bzw. verbessert werden. Der genetische Trend für jedes Merkmal ist abhängig von der Rasse und der Art der Berücksichtigung des Merkmals in Zuchtwertschätzungen. Auch die Anzahl vitaler Ferkel kann, trotz erreichter Fortschritte, noch gesteigert werden. Mit dem Artikel werden Ansätze zu einer vertieften Phänotypisierung von Rindern und Schweinen aufgezeigt, die dazu dienen sollen, Erkenntnisse für Selektionsentscheidungen zur Verbesserung o. g. funktionaler Merkmale zu erarbeiten.

Schlüsselwörter: Rinder, Schweine, funktionale Merkmale, Fruchtbarkeit, Mastitis

Mastitis bei Milchrindern

Für eine ökonomisch effiziente und vom Verbraucher akzeptierte Milchproduktion ist die Eutergesundheit eine unerlässliche Voraussetzung. Gegenwärtig verursachen Mastitiden mit bis zu 50% den höchsten Anteil an den erkrankungsbedingten direkten Kosten (FOURICHON et al., 2001; HINRICHS et al., 2006). Ein Lösungsweg aus diesen Problemen besteht in der Verbesserung des Managements (Liegekomfort, Melktechnik, Fütterung), der jedoch in der Praxis an Grenzen stößt. Weitere Ansatzpunkte, wie der prophylaktische Einsatz von Vakzinen (z. B. gegen *E.coli*-Infektionen) oder die Nutzung von gentechnisch veränderten Kühen (z. B. für das Bakterientoxin *Lysostaphin*-transgene Rinder, WALL et al., 2005), konnten sich bislang nicht durchsetzen bzw. besitzen auf dem westeuropäischen Markt keine Verbraucherakzeptanz. Das Potenzial züchterischer Maßnahmen zur nachhaltigen Verbesserung der Eutergesundheit wurde in der Vergangenheit nicht in vollem Umfang genutzt.

Mit Experimenten in der Norwegischen Rotviehpopulation konnte gezeigt werden, dass Selektion auf verbesserte Eutergesundheit erfolgreich sein kann (HERINGSTAD et al., 2007). Diese demonstrieren auch, dass genetische Variabilität sowohl für die Inzidenz klinischer Mastitis als auch für den somatischen Zellgehalt in der Milch, der häufig als Hilfsparameter für die Selektion auf Eutergesundheit verwendet wird, vorhanden ist.

Die Auswertungen Deutscher Milchrassen (Holstein, Fleckvieh und Braunvieh, s. VIT, 2006; LFL, 2007) belegen jedoch, dass trotz der vorhandenen erheblichen genetisch bedingten Variabilität und trotz Berücksichtigung entsprechender Parameter in den Zuchtwert-Indizes bezüglich Merkmalen der Eutergesundheit in den letzten Jahren kaum ein genetischer Fortschritt erzielt wurde. Ursachen dafür sind sicher in den zum Teil unvorteilhaften Korrelationen zu Produktionsmerkmalen (Milchmenge, Milchfluss, s. RUPP und BOICHARD, 2003) zu suchen. Des Weiteren besteht für die Selektion auf eine verbesserte Eutergesundheit das Problem einer häufig nur unpräzisen Merkmalerfassung, da in vielen Ländern lediglich Zellzahldaten aus der Routine-Milchkontrolle zur Beschreibung der Eutergesundheit dienen. Diese Zellzahldaten geben jedoch nur einen spezifischen Ausschnitt des Merkmals „Eutergesundheit“ wieder. So stellen Zellzahl bei klinisch gesunden und bei infizierten Tieren offensichtlich zwei unterschiedliche Merkmale dar (BOETTCHER et al., 2007). Zudem berichteten HERINGSTAD et al. (2006) über eine begrenzte Voraussagekraft von Zellzahlzuchtwerten von Bullen hinsichtlich ihres Zuchtwertes für Mastitisinzidenz. Dies weist darauf hin, dass möglicherweise bedeutende, unterschiedlich determinierte genetische Effekte auf Zellzahl und Mastitisinzidenz wirken.

Um zu einer wesentlichen Verbesserung der Eutergesundheit durch züchterische Maßnahmen zu gelangen, ist daher eine Präzisierung der phänotypischen Merkmalerfassung sowie die Kenntnis über die molekularen Mechanismen notwendig, die einem verbesserten Abwehrvermögen eines Tieres gegenüber Euterpathogenen zugrunde liegen.

Vertiefte Phänotypisierung

In den skandinavischen Ländern ermöglicht eine präzise und systematische Dokumentation der auftretenden Krankheiten bei Rindern eine direkte Zucht auf Mastitisunempfindlichkeit, die in der norwegischen Population seit 1994 zu deutlichen Verbesserungen bei den Mastitisraten der Kühe geführt hat (OSTERAS et al., 2007). Dieser Ansatz wird in ähnlicher Form im Rahmen der Testherdenprojekte in Mecklenburg-Vorpommern (M-V) und Sachsen in ausgewählten Betrieben durchgeführt.

In einem Gemeinschaftsprojekt der Universität Rostock, des Rinderzuchtverbandes M-V e.G. (RZMV), der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M-V (LFA), des Landeskontrollverbandes für Leistungs- und Qualitätsprüfung M-V e.V. (LKV) und der Qualitäts- und Dienstleistungsgesellschaft M-V mbH (MQD) wurden in Anlehnung an die Milchleistungsprüfungen, Milchproben von zellzahlauffälligen Kühen (>400000 Zellen/ml Milch) in 7 Versuchsbetrieben des RZMV entnommen und zur bakteriologischen Untersuchung in das Labor der MQD geschickt. Staphylokokken waren die Hauptursache für die Zellzahlerhöhungen in der Milch der Kühe. Allerdings war die Milch von 20% der zellzahlauffälligen Tiere ohne besonderen mikrobiologischen Befund.

KLAAS (2000) entnahm über einen Zeitraum von zwei Jahren in 15 schleswig-holsteinischen Milchviehbetrieben Viertelgemelksproben von allen laktierenden Kühen. Neben einer Zellzahlbestimmung wurden diese Milchproben bakteriologisch untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass verschiedene Mastitiserreger zu unterschiedlich starken Ausprägungen der Zellzahlen in der Milch führten, wobei Euterviertel ohne bakteriologischen Befund die niedrigsten Zellzahlen aufwiesen. Die häufigsten Erreger waren Staphylokokken, die zu einer deutlichen Erhöhung der Zellzahl führten. Dabei verursachten koagulase-positive Staphylokokken höhere Zellzahlen als koagulase-negative Staphylokokken. Streptokokken, coliforme Keime und Hefen waren für einen noch stärkeren Anstieg der Zellzahlen verantwortlich.

DE HAAS et al. (2002) beschäftigten sich mit der Frage, ob die Zucht auf niedrige Zellgehalte in der Milch die Resistenzen der Kühe gegen alle Mastitiserreger nachhaltig verbessert. Die geschätzten genetischen Korrelationen zwischen den einzelnen Mastitiserregern und den somatischen Zellgehalten am 150. bzw. am 305. Laktationstag variierten deutlich. So verbessert eine Zucht auf niedrige Zellgehalte die Resistenzen der Kühe gegen den Erreger *Escherichia coli* wesentlich ($r_{g\text{ SCS }150\text{ und }E.coli}=0,74$; $r_{g\text{ SCS }305\text{ und }E.coli}=0,63$), wohingegen die Resistenzen gegen den Erreger *Streptococcus dysgalactiae* aufgrund der niedrigen genetischen Korrelationen ($r_{g\text{ SCS }150\text{ und }Sc\text{ dysgalactiae}}=0,16$; $r_{g\text{ SCS }305\text{ und }Sc\text{ dysgalactiae}}=0,04$) kaum positive Entwicklungen aufweisen dürften. Dies zeigt, dass die Aussagekraft des Hilfsmerkmals somatischer Zellgehalt für die Zucht auf Eutergesundheit unzureichend ist. Zukünftig sollten in Testherden bakteriologische Befunde von Kühen systematisch erfasst werden, um die züchterische Bearbeitung des komplexen Merkmals Eutergesundheit zu optimieren.

Molekulare Analyse der genetisch bedingten Merkmalsvariabilität

Die Kenntnis der molekularen Grundlagen genetisch determinierter Unterschiede in der Abwehrfähigkeit gegenüber Mastitis ist die Voraussetzung für eine effiziente Züchtung auf verbesserte Eutergesundheit. In der Population Deutsche Holsteins wurden merkmalsbeeinflussende Genorte (QTL) für Zellzahl auf den Chromosomen 2, 18 und 27 identifiziert, die einen ersten Ansatzpunkt für eine markergestützte Selektion auf verbesserte Eutergesundheit bilden (KÜHN et al., 2003). Ausgehend von den beim Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (VIT) in einer Genom-Datenbank (<http://www.vit.de>) vorhandenen Genotypen sowie auf der Basis der beim VIT abgelegten Pedigree-Daten wurde für den QTL auf BTA18 im Sinne eines „proof-of-principle“ eine familienbasierte markergestützte Selektion durchgeführt (KÜHN et al., 2008). Im Vergleich zu konventioneller Selektion in einer Kontrollgruppe auf der Basis von Pedigree-Zuchtwerten zeigte sich bei markergestützter Selektion eine verbesserte Differenzierung der als vorteilhaft bzw. unvorteilhaft veranlagt vorhergesagten Tiere hinsichtlich somatischer Zellzahl. Darüber hinaus traten die bei konventionell selektierten Tieren häufig beobachteten unvorteilhaften Effekte auf Milchmenge und Milchfluss deutlich weniger ausgeprägt auf. Damit konnte gezeigt werden, dass mittels genetischer Marker bereits frühzeitig (noch vor der ersten Abkalbung) und gezielt auf verbesserte Eutergesundheit selektiert werden kann. Expressionsuntersuchungen an den gesunden, jedoch hinsichtlich Eutergesundheit unterschiedlich veranlagten Färsen aus dem Selektionsversuch gaben Anhaltspunkte für mögliche funktionale Hintergründe der unterschiedlichen Veranlagung für das

Merkmal Eutergesundheit. So zeigten sich in Gesamt-Genom-Transkriptom-Analysen von Zielgeweben (z. B. Euterparenchym oder Lymphknoten) Hinweise auf eine differente Expression von Genen aus dem Bereich des Immunsystems zwischen vorteilhaft und unvorteilhaft veranlagten Tieren. Neben der direkten Erregerabwehr sind Melkverhalten und Milchfluss, die Persistenz während der Laktation sowie Körperformmerkmale (besonders des Euters) weitere Merkmale, die auf die Eutergesundheit einwirken können, die eine genetisch bedingte Variabilität aufweisen und für die in der Deutschen Holstein-Population eine Koinzidenz von QTL-Positionen mit der Eutergesundheit beschrieben wurden (HIENDLEDER et al., 2003; HARDER et al., 2006; XU et al., 2006). Daher sollten die genetischen Grundlagen für diese Merkmale bei der Suche nach den Ursachen variabler Eutergesundheit nicht vernachlässigt werden.

In Zukunft wird es auch unter den Möglichkeiten einer Gesamt-Genom-Selection (Genomic selection, s. MEUWISSEN et al., 2001) erforderlich sein, spezifische Phänotypen, die möglichst genau das Zielmerkmal beschreiben, und umfassende Markerinformation zusammenzuführen, um die genetische Veranlagung von Rindern hinsichtlich Eutergesundheit präzise und definiert zu bestimmen.

In welchem Umfang die Eutergesundheit dann mittels züchterischer Maßnahmen verbessert werden kann wird auch davon abhängen, ob die neu zu entwickelnden Werkzeuge auch tatsächlich in der Selektion angemessen berücksichtigt werden.

Fruchtbarkeit bei Milchrindern

Eine 2006 von der World Holstein-Friesian Federation initiierte Studie über Fruchtbarkeit in der Holstein-Population kommt zu dem Schluss, dass die Fruchtbarkeit ein Problem in der Population darstellt und diesem Merkmal international und auf nationalen Ebenen eine verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen ist (SORENSEN et al., 2007). Im Jahr 2007 verursachten Fruchtbarkeitsstörungen 20% aller Abgänge von Kühen in Deutschland (RINDERPRODUKTION-ADR, 2008). Damit verbunden sind betriebswirtschaftliche Probleme, eine unzureichende Nachhaltigkeit der Produktion, eine Beeinträchtigung der Akzeptanz der Primärproduktion und ethische Probleme. Der sinkenden Fruchtbarkeit von Hochleistungsrindern wird mit Managementmaßnahmen und durch Berücksichtigung von unterschiedlichen Töchter-Fruchtbarkeitsparametern in Zuchtwerten für Bullen entgegengewirkt. Der genetische Trend für Töchterfruchtbarkeit ist in Abhängigkeit von der Rasse und der Berücksichtigung des Merkmals in Zuchtprogrammen konstant bis sinkend (BERGLUND, 2008). In Deutschland wird seit April 2008 für die Rasse Deutsche Holstein das Merkmal Fruchtbarkeit (Relativ Zuchtwert Reproduktion, RZR) mit 10% im Gesamtzuchtwert gewichtet. Im RZR werden die Rastzeit (RZ), die Non-Return-Rate am Tag 56 (NRR 56) und die Verzögerungszeit (VZ) berücksichtigt. Insbesondere die Merkmale RZ und NRR 56 werden von Managementfaktoren beeinflusst. Sie weisen darüber hinaus nur geringe Heritabilitäten zwischen 0,01 bis 0,05 auf (DE HAAS et al., 2007; BERGLUND, 2008). Daraus wird die Notwendigkeit abgeleitet, durch eine vertiefte Phänotypisierung Merkmale zu erarbeiten, welche besser als die bisherigen die Biologie der Merkmalsausprägung reflektieren und eine höhere Heritabilität aufweisen.

Vertiefte Phänotypisierung

Body Condition Score (BCS)

Aus zahlreichen Literaturangaben sind Interaktionen zwischen Fettreserven und Fruchtbarkeitsparametern zu erkennen (DE HAAS et al., 2007; FLORES et al., 2008; KADOKAWA et al., 2008). Der Parameter BCS ist einfach zu erfassen. Nachteilig ist, dass es mehrere Skalierungen (von 1 bis 5 bzw. 1 bis 10) gibt (SCHRÖDER und STAUFENBIEL, 2006). Darüber hinaus ist die Einstufung von Tieren ein subjektives Ergebnis. Aus diesem Grund ist eine automatische Bestimmung des BCS wünschenswert (FERGUSON et al., 2006). Die Tabelle 1 enthält Angaben zur Heritabilität des Merkmals und zu genetischen Korrelationen zwischen BCS und Fruchtbarkeitsmerkmalen. Aus den Literaturangaben ist abzuleiten, dass der Zeitraum der höchsten genetischen Varianz für den BCS und der stärksten Korrelationen des BCS zu Fruchtbarkeitsmerkmalen noch einer weiteren Klärung bedarf.

Tabelle 1

Heritabilität des Merkmals BCS und genetische Korrelationen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen

Kriterium	Angaben	Referenz
Heritabilität	$h^2 = 0,26$	PRYCE und HARRIS, 2006
	$h^2 = 0,15-0,17$	DAL ZOTTO et al., 2007 DE HAAS et al., 2007
Genetische Korrelationen (r_g) zu		
Zwischenkalbezeit	-0,35	DAL ZOTTO et al., 2007
Rastzeit	-0,45 bis -0,14	DE HAAS et al., 2007
Zwischenkalbezeit	-0,59 bis -0,02	
Trächtigkeitsrate aus Erstbesamung	0,08 bis 0,82	
BCS zur Abkalbung und BCS-Verlust	$r = 0,8$	LEROY et al., 2008

Rückenfettdicke (RFD)

Die Rückenfettdicke ist ein guter Indikator der Energiebilanz. Zwischen der RFD und dem Gesamtkörperfett besteht mit $r=0,9$ eine hohe Korrelation (SCHRÖDER und STAUFENBIEL, 2006). Ebenso besteht eine hohe Korrelation ($r=0,82$; MOSENFECHEL et al., 2000) zwischen der RFD *ante partum* (a.p.) und *post partum* (p.p.) sowie zwischen der RFD und dem BCS ($r=0,68-0,74$, GOSSEN et al., 2006). Der Abbau von Rückenfett wird durch genetische und Umweltfaktoren beeinflusst (FRIGGENS et al., 2004). Über Heritabilitäten für den Parameter wurde bisher in der Literatur nicht berichtet. Die vergleichsweise stärkste Abnahme der RFD bis zum 90. Tag p.p. war mit der vergleichsweise längsten Zwischentragezeit (ZTZ) und der geringsten Trächtigkeitsrate (TR) verbunden (GOSSEN et al., 2006). Der Vorteil des Parameters besteht darin, dass für seine Erfassung eine objektive Messmethode (bildgebende Ultraschalldiagnostik) zur Verfügung steht. Der Nachteil besteht in den Kosten für die Beschaffung eines Ultraschallgerätes.

Progesteronkonzentrationen

Der Beginn der lutealen Aktivität (CLA) p.p. und das regelmäßige Auftreten von Sexualzyklen sind wichtige Voraussetzungen für eine erneute Trächtigkeit. Die in der Tabelle 2 aufgeführten Daten zeigen Beziehungen zwischen dem Parameter CLA sowie der Milchmenge und der Zwischentragezeit (WATHES et al., 2007).

Tabelle 2

Beziehungen zwischen Milchmenge, Intervall von der Abkalbung bis CLA und Zwischentragezeit

ZTZ (d)	Tierzahl (n)	multipare Kühe		primipare Kühe		
		CLA (d)	Milchmenge (kg)	Tierzahl (n)	CLA (d)	Milchmenge (kg)
<80	67	24,1±1,1 ^c	34,9±0,8 ^c	92	24,8±2,5 ^a	30,9±0,9
80-150	81	28,1±1,7 ^d	43,3±0,9 ^d	89	28,7±1,9 ^{ab}	31,7±0,5
>150	27	41,7±8,0 ^d	48,5±1,1 ^e	32	34,5±4,1 ^b	32,6±0,8

a,b=P<0,05; c-e=P<0,01

Für das Merkmal CLA wurden Heritabilitäten zwischen 16 bis 30% geschätzt (ROYAL et al., 2002; PETERSSON et al., 2007). Die Höhe der Heritabilität ist abhängig von der Analysenfrequenz (PETERSSON et al., 2007), die darüber hinaus auch die Genauigkeit der Ergebnisse beeinflusst (VAN DER LENDE et al., 2004; PETERSSON et al., 2008).

Zwischen Töchtern von Testbullen fanden VAN DER LENDE et al. (2004) Unterschiede für das Intervall Partus bis erstes aktives Lutealgewebe. Gemessen werden Progesteronkonzentrationen in der Milch. Dafür stehen mehrere Methoden zur Verfügung, die in Speziallabors, aber auch in Praxisbetrieben durchgeführt werden können. Der Vorteil einer Progesteronanalytik im Praxisbetrieb besteht darin, dass die Ergebnisse aus der Analytik unmittelbar für Managementmaßnahmen (Brunstfeststellung, Ovulationskontrolle, Zyklusdiagnostik, Feststellung nichttragender Rinder am Tag 21 *post inseminationem*) genutzt werden können. Neuste Entwicklungen machen eine Probenentnahme aus der Milch überflüssig.

Brunstausprägung

Die Eigenschaft, deutliche Brunstsymptome zu zeigen, wird als bedeutsame Voraussetzung für eine Konzeption von Rindern im Rahmen des Besamungsmanagements bewertet (VAN EERDENBURG et al., 2002; BERGLUND, 2008). HOLMBERG und ANDERSSON-EKLUND (2006) entwickelten eine Brunstintensitätsskala und fanden für das Merkmal Brunstintensität mehrere QTL. Zwischen der Brunstintensität und dem Zeitpunkt der Ovulation wurde eine signifikante Korrelation ermittelt ($r=0,32$; VAN EERDENBURG et al., 2002). Unvorteilhaft ist, dass der Parameter einer subjektiven Bewertung unterliegt. Aus diesem Grund ist eine objektive Messgröße wünschenswert. Ansätze dafür könnten in der Kombination von Pedometrie und Detektoren für die Duldung liegen.

Molekulare Analyse der genetisch bedingten Merkmalsvariabilität

Für Fruchtbarkeitsmerkmale (Ovulationszahl, NRR, Kalbeverlauf, Intervall Partus bis Besamung) wurden QTL auf unterschiedlichen Chromosomen gefunden (KÜHN et al., 2003; KHATKAR et al., 2004; HOLMBERG und ANDERSSON-EKLUND 2006; DAETWYLER et al., 2008). Die bisher gewonnenen Erkenntnisse werden zum Teil in Selektionsprogrammen genutzt. Die Aussichten, mit den bisherigen Erkenntnissen zeitnah Fruchtbarkeitsparameter positiv zu beeinflussen, werden zurückhaltend bewertet (GUILLAUME et al., 2007; VEERKAMP und Beerda, 2007). Das ist darauf zurückzuführen, dass einige QTL nur einen sehr geringen Einfluss auf die Merkmalsausprägung (1% der NRR) haben bzw. die Assoziation zwischen Marker und QTL nur für bestimmte Familienstrukturen gelten und mit der Zeit verloren gehen.

Die Erfassung von Single Nucleotide Polymorphismen (SNPs) im ganzen Genom und die Chance der Genotypisierung einzelner Tiere für zehntausende SNPs öffnet die Möglichkeit genomweite Markerinformationen für eine Vorhersage von Zuchtwerten zu benutzen. Dadurch können der Zuchtwert von jungen Tieren vorhergesagt und die Kosten für Nachkommenschaftsprüfungen reduziert werden. Es ist zu erwarten, dass durch die SNP-Analytik zukünftig präzisere Informationen über QTL für Fruchtbarkeitsmerkmale erarbeitet werden.

Neben QTL wurden mehrere Gene (FSH-, LHR-, Leptin-Gen) identifiziert, von denen angenommen wird, dass eine Variation im Gen die Fruchtbarkeit beeinflussen kann (VEERKAMP und BEERDA, 2007). LIEFERS et al. (2002) fanden einen Polymorphismus im Leptin-Gen, welcher damit verbunden war, dass AB-Genotypen im Vergleich zu AA-Genotypen täglich 1,3 kg Milch mehr gaben und 0,7 kg Trockensubstanz mehr aufnahmen, ohne dass das Intervall Partus bis erste Ovulation verlängert war.

Die Nutzbarkeit der Erkenntnisse ist bisher gering, da eine direkte Genwirkung nicht immer ausreichend bewiesen wurde und die Übertragbarkeit auf andere Tierstrukturen nicht ausreichend gegeben war.

Genexpressionsstudien reflektieren einen bedeutsamen Methodenkomplex für die Identifizierung von Genen, Genprodukten und Netzwerken, welche Reproduktionsfunktionen beeinflussen. Studien an Rindern waren bisher auf Expressionsanalysen an Ovidukt- und Endometriumgewebe (BAUERSACHS et al., 2004, 2005; FENWICK et al., 2008), *Corpora lutea* (CASEY et al., 2005) und Oozyten (GHANEM et al., 2007) ausgerichtet. Polymorphismen in Genen können für Selektionsentscheidungen genutzt werden, jedoch sind dafür noch mehr Erkenntnisse über die bedeutsamsten Gene und Gen-Gen-Interaktionen eine Voraussetzung.

Fruchtbarkeit Schwein

In den letzten Jahren sind in der Schweinezucht und -produktion hinsichtlich der Fruchtbarkeits- und Aufzuchtleistung Fortschritte erzielt worden. Möglich wurde dies u. a. durch die BLUP-Zuchtwertschätzung und geeignete Selektionsprogramme. Merkmale der Fruchtbarkeit weisen jedoch nur eine geringe Heritabilität auf ($h^2=0,10$). Da zunächst vorrangig auf die Wurfgröße (Anzahl lebend geborener Ferkel je Wurf) orientiert wurde, sank das durchschnittliche Geburtsgewicht der Ferkel, und die Aufzuchtverluste stiegen. Mit der Erhöhung der Wurfgröße traten neue Probleme auf (RÖHE und KALM, 1997), die vor allem die mittlere Geburtsmasse und deren Streuung, die Überlebensrate und die Lebendmasseentwicklung der Ferkel bis zum Absetzen sowie die nachfolgenden Leistungen aller Ferkel eines Wurfs betrafen (RITTER und FALKENBERG, 1986; ZSCHORLICH und RITTER, 1989; KISNER et al., 1996; TÄUBERT und HENNE, 2003).

Weitere Merkmale mit günstiger Wirkung auf die Fruchtbarkeits- und Aufzuchtleistung der Sau, wie der Komplex der Mütterlichkeit in Form des Verhaltens der Sau gegenüber ihren Ferkeln (KRIETER et al., 2006), werden diskutiert. Ebenso kommt aus ökonomischer Sicht dem Merkmalskomplex Langlebigkeit und Nutzungsdauer eine wachsende Bedeutung zu.

Im Ergebnis dessen werden in den Zuchtprogrammen für die Mutterrassen zahlreiche Merkmale der Fruchtbarkeits- und Aufzuchtleistung berücksichtigt. So findet die

Wurfgröße (LGF/W) bei den Mutterrassen in den ostdeutschen Zuchtverbänden mit einer Gewichtung von 50% Berücksichtigung. Darüber hinaus wird bei der subjektiven Bewertung der Phänotyp nach Rahmen, Exterieur und Gesäuge beurteilt. Zuchtunternehmen (BHZP, DanZucht, PIC) geben für den Komplex der die Fruchtbarkeits- und Aufzuchtleistung kennzeichnenden Merkmale eine Gewichtung von etwa 75 bis 80% aller bei der Selektion der Mutterrassen berücksichtigten Merkmale an.

Der bisher erzielte Leistungsfortschritt einerseits und die hohe ökonomische Wichtung in den heutigen Zuchtprogrammen andererseits werfen die Frage nach den biologischen Wirkmechanismen und daraus schlussfolgernd den zukünftig zu erwartenden Leistungen auf.

Die Fruchtbarkeitsleistung von Sauen, gemessen an der Anzahl lebend geborener Ferkel, wird im wesentlichen durch drei Zusammenhänge bestimmt: (1) die Anzahl der zur Ovulation kommenden Follikel und die Anzahl der freigesetzten befruchtungsfähigen Eizellen, (2) den Anteil überlebender Embryonen und Feten, sowie (3) die morpho-funktionelle Leistung des Uterus, die eine Fetenentwicklung bis zur Geburt gewährleistet. Die Aufzuchtleistung der Sau wird wiederum durch die Milchleistung während der Laktation und die Mütterlichkeit bestimmt.

Betrachtet man beim Schwein den enormen Pool an Follikeln und Eizellen (etwa 400000; GOSDEN und TELFER, 1987), so scheint der Eierstock nicht der begrenzende Faktor zu sein. Aber es werden nur etwa 0,5% der vorhandenen Eizellen als befruchtungsfähige Eizelle während des Lebenszyklus einer Sau freigesetzt (BRÜSSOW und WÄHNER, 2008). Von diesen freigesetzten Eizellen entwickeln sich etwa 60 bis 70% zu lebend geborenen Ferkeln. Um das vorhandene Eierstockpotenzial besser auszunutzen, ist eine Einflussnahme durch eine hormonelle Stimulation sowie durch eine züchterische Beeinflussung der Anzahl Ovulationen zur Erhöhung der Wurfgröße generell möglich. Obwohl mit exogenen Gonadotropinen das Follikelwachstum und der Anteil ovulationskompetenter Follikel durchschnittlich um 30 bis 60% erhöht werden kann, ist der Anteil der zusätzlichen intakten Embryonen mit 0 bis 40% jedoch nur moderat erhöht (BAZER et al., 1969; BRÜSSOW und KÖNIG, 1990). Hohe individuelle und nicht vorhersagbare Variationen machen es wenig praktikabel, die Ferkelanzahl durch Induktion von vermehrten Ovulationen zu erhöhen.

Eine züchterische Einflussnahme auf hohe Ovulationszahlen ist trotz der relativ geringen Heritabilitäten von 0,10 bis 0,15 möglich (CUNNINGHAM et al., 1979; LAMBERSON et al., 1991; HANENBERG et al., 2001; ROSENDO et al., 2007). Obwohl die Anzahl Ovulationen über mehrere Generationen um 10 bis 28% (1,5 bis 3,9 Gelbkörper) erhöht werden konnte, war die Wurfgröße nur unbedeutend (8 bis 10%) beeinflusst (CUNNINGHAM et al., 1979; JOHNSON et al., 1981; KELLY et al., 1988; LAMBERSON et al., 1991; RUIZ-FLORES und JOHNSON, 2001).

Bei alleiniger Selektion auf hohe Ovulationszahlen besteht nur in der frühen Trächtigkeit ein Zusammenhang zwischen einer ansteigenden Anzahl Ovulationen und einer erhöhten Anzahl Feten (FREKING et al., 2007). Daraus lässt sich ableiten, dass die Kapazität des Uterus begrenzt ist. Unter Uteruskapazität wird die Fähigkeit der Gebärmutter verstanden, eine bestimmte Anzahl Feten während der Trächtigkeit zu unterstützen (FENTON et al., 1970; CHRISTENSON et al., 1987). Diese räumliche und funktionelle Limitierung der Uteruskapazität umfasst dabei das Raumangebot, die Nährstoffversorgung, den Gasaustausch und die Oberfläche der

Plazenta. Obwohl prinzipiell eine Beziehung zwischen der Uteruslänge (Raumangebot) und der Anzahl Feten besteht, ist die Uteruslänge allein keine ausreichende Voraussetzung für eine höhere Uteruskapazität. Trotzdem ist ein gewisses Platzangebot für den Embryo notwendig; jeder überlebende Fetus beansprucht zwischen dem 30. bis 80. Trächtigkeitstag etwa 26 bis 45 cm Uteruslänge (WU et al., 1989; BRÜSSOW und WÄHNER, 2008).

Wesentlich für hohe Wurfgrößen und ggf. hohe Ferkelgewichte bei der Geburt sind gut entwickelte Plazenten. Deren unzureichende Entwicklung in der frühen Trächtigkeit (Trächtigkeitstag [TT] 20 bis 30) hat einen wesentlichen Einfluss auf Wachstum und Überleben der Feten, und die Uteruskapazität vom TT 30 bis zur Geburt beeinflusst die pränatalen Verluste (KNIGHT et al., 1977; JOHNSON et al., 1999). Eine Selektion auf Uteruskapazität, die einhergeht mit höheren Plazentagewichten, ergab in amerikanischen Untersuchungen eine um 0,8 höhere Fetenanzahl je Uterushorn. Demgegenüber verringerte sich die Uteruskapazität bei den auf Anzahl Ovulationen selektierten Sauen um 1,1 Feten je Horn (FREKING et al., 2007). Was zeichnet Sauen mit einer höheren Anzahl Ferkel aus? Als Beispiel können Sauen der Rasse Meishan angeführt werden, die eine um 3 bis 5 höhere Anzahl lebend geborener Ferkel als Sauen weißer Mutterrassen haben. Diese Ferkel sind jedoch hinsichtlich Länge und Masse kleiner und sie nehmen einen geringeren Platz im Uterus ein. Weiterhin ist bei diesen Sauen die Größe der Plazenta geringer, jedoch hat diese eine höhere (Plazenta-)Effizienz (BIENSEN et al., 1998; WILSON et al., 1999). Unter Plazentaeffizienz (PE) versteht man den Quotienten aus Fetenmasse (g) und Plazentamasse (g). Sie stellt den „Wirkungsgrad“ der Plazenta dar, d. h. sie zeigt, wie viel g Fetus durch 1 g Plazenta unterstützt werden. Zusätzlich sind bei der Rasse Meishan der Grad der plazentaren Blutversorgung und sowohl die Anzahl als auch der Durchmesser der Blutgefäße erhöht. Die hohe Dichte der Blutgefäße in der Plazenta nimmt bei den Meishan während der Trächtigkeit im Vergleich zu weißen Mutterrassen kontinuierlich zu. Eine hohe Blutgefäßdichte unterstützt den Nährstofftransfer zu den Feten. Insbesondere kleine Feten profitieren davon und haben eine höhere Überlebenschance (BIENSEN et al., 1998; REDMER et al., 2004).

Aus den aufgeführten Erkenntnissen kann abgeleitet werden, dass eine vertiefende Phänotypisierung ein Erfolg versprechender Weg ist, die Fruchtbarkeits- und Aufzuchtleistungen von Sauen zu verbessern.

Vertiefte Phänotypisierung

Aus unserer Sicht sind zusätzlich zu den bereits einbezogenen Parametern, wie Anzahl insgesamt und lebend geborener Ferkel, Geburtsmasse und Variation der Geburtsmasse, folgende Einflussgrößen zu berücksichtigen – (1) Anzahl Follikel/Ovulationen, (2) Uteruslänge/Uteruskapazität, (3) intrauterine Nährstoffversorgung, (4) Vitalität der Ferkel und (5) Milchleistung/Aufzuchtleistung der Sau.

Da für die genannten Einflussgrößen derzeit noch keine praktikablen Erfassungsmethoden vorhanden sind, sollten diese zukünftig wissenschaftlich erarbeitet werden. Welche Methoden wären für eine vertiefende Phänotypisierung vorstellbar? Dabei ist davon auszugehen, dass die Merkmalerfassung nichtinvasiv erfolgen sollte, d. h. ohne chirurgische Eingriffe bzw. Schlachtung der Probanden.

- Die Anzahl der Follikel und Ovulationen könnte mittels hoch auflösender transabdominaler oder transrektaler Ultraschall-(US)-Technik erfolgen. Neben der Erfassung dieser Merkmale bei Zuchtsauen in Nukleusherden könnte auch der Ovulationszeitraum bestimmt werden. Somit wäre eine Selektion von Sauen mit optimalen Ovulationszahlen innerhalb kurzer Ovulationsperioden möglich, um zusätzlich die Embryonendiversität aufgrund längerer Ovulationszeiträume einzuschränken.
- Für die Parameter Uteruslänge/-kapazität, transuterine Nährstoffversorgung der Feten, Vaskularisierung und Effizienz der Plazenta stehen derzeit noch keine nicht-invasiven Methoden zur Verfügung. Ansatzpunkte werden auch hier in der Nutzung der US-Technik gesehen. Mittels Ultraschall-gestützter Messungen des Uterus vor und im Verlaufe der Trächtigkeit können Korrelationen hinsichtlich Raumangebot/Uteruskapazität und Anzahl geborener Ferkel erarbeitet werden. Diese könnten mittels Ultraschall-geleiteter Blutflussmessung an Feten und der Erfassung des Grades der Vaskularisierung der Plazenta erweitert werden.
- Es ist anzunehmen, dass die Vitalität der Ferkel wesentlich von ihrer Entwicklung im Uterus und somit von dessen Stoffwechsellistung beeinflusst ist. Zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen sollten diese Annahme unterlegen und durch geeignete (noch zu erarbeitende) Screeningmethoden entsprechende Parameter erfassen. Diese sollten dann mit postpartalen Vitalitätstests (Änderungen der Körpertemperatur, Aufstehzeit, Säugekontakt und anderen) korreliert werden und in entsprechenden Vitalitätsbonitäten Berücksichtigung finden.
- Zukünftig sollte die Milchleistung und damit auch die Aufzuchtleistung der Sau in den Nukleusherden besser bzw. überhaupt erfasst werden. Das sollte über eine Erfassung der Lebendmasse der Ferkel bei der Geburt und nach dem Absetzen hinausgehen.

Molekulare Analyse der genetisch bedingten Merkmalsvariabilität

Die vertiefte Phänotypisierung hinsichtlich der Fruchtbarkeits- und Aufzuchtleistungen ist mit der Ermittlung möglicher genetischer Marker zu koppeln, um die gewünschten Parameter besser in die Zucht integrieren zu können.

Dabei ist davon auszugehen, dass die Fruchtbarkeit von multiparen Tieren, insbesondere beim Schwein, eines der schwierigsten und komplexesten Merkmale ist. Ursachen dafür sind neben den geringen Heritabilitäten das relativ lange Generationsintervall, die polygenetische Merkmalsanlage und starke Umwelteinflüsse auf den Reproduktionsprozess (BUSKE et al., 2006). Mittels QTL-Analyse und Kandidatengenansatz wurden jedoch bereits einige Chromosomabschnitte und Markergene ermittelt, die für den Komplex Fruchtbarkeit von Bedeutung sein können. Im Wesentlichen liegen diese QTL auf den Chromosomen 8 und 7. Sie beziehen sich auf die Merkmale Uteruskapazität/Uteruslänge (WILKIE et al., 1999; ROHRER et al., 1999) und Anzahl Ovulationen (RATHJE et al., 1997; WILKIE et al., 1999; ROHRER et al., 1999). Weitere vermeintliche QTL für die Anzahl Ovulationen wurden auf den Chromosomen 3, 7, 9, 10, 13, 15 ermittelt (RATHJE et al., 1997; WILKIE et al., 1999; ROHRER et al., 1999; CASSADY et al. 2001). Hinsichtlich der Wurfgröße, die durch mehrere Merkmale wie Uteruskapazität, Anzahl Ovulationen und Embryoüberlebensrate beeinflusst wird (BENNET und

LEYMASTER, 1989), wurden mögliche QTL auf den Chromosomen 6, 7, 8, 11, 12, 14 und 17 lokalisiert (WILKIE et al., 1999; CASSADY et al., 2001; DE KONING et al., 2001; KING et al., 2003). Neben diesen QTL sind Kandidatengene wie der Östrogen-, Prolaktin-, GnRH- und Leptin-Rezeptor sowie weitere Gene (u. a. FSHb, Leptin, Properdin, Retinol-Bindungsprotein) ermittelt, die in den Komplex Fruchtbarkeit Schwein integriert sind. Eine entsprechende Übersicht sowie eine zytogenetische Kartierung wurden von BUSKE et al. (2006) gegeben. Die empfohlene vertiefende Phänotypisierung könnte dazu beitragen, die Feinkartierung der QTL und Kandidatengene zu forcieren und somit den Züchtungsprozess gezielt zu qualifizieren.

Literatur

- BAUERSACHS, S.; REHFELD, S.; ULBRICH, S.E.; MALLOK, S.; PRELLE, K.; WENIGERKIND, H.; EINSPANIER, R.; BLUM, H.; WOLF, E.:
Monitoring gene expression changes in bovine oviduct epithelial cells during the oestrous cycle. *J. Mol. Endocr.* **32** (2004), 449-466
- BAUERSACHS, S.; ULBRICH, S.E.; GROSS, K.; SCHMIDT, S.E.M.; MEYER, H.H.D.; EINSPANIER, R.; WENIGERKIND, H.; VERMEHREN, M.; BLUM, H.; SINOWATZ, F.; WOLF, E.:
Gene expression profiling of bovine endometrium during the oestrous cycle: detection of molecular pathways involved in functional changes. *J. Mol. Endocr.* **34** (2005), 889-908
- BAZER, F.W.; ROBINSON, O.W.; ULBERG, L.C.:
Effect of dichlorvos and PMS on reproduction in swine. *J. Anim. Sci.* **28** (1969), 145
- BENNETT, G.L.; LEYMASTER, K.A.:
Integration of ovulation rate, potential embryonic viability and uterine capacity into a model of litter size in pigs. *J. Anim. Sci.* **67** (1989), 1230-1241
- BERGLUND, B.:
Genetic Improvement of Dairy Cow Reproductive Performance. *Reprod. Dom. Anim.* **43** (2008), 89-95
- BIENSEN, N.J.; WILSON, M.E.; FORD, S.P.:
The impact of either a Meishan or Yorkshire uterus on Meishan or Yorkshire fetal and placental development to days 70, 90 and 110 of gestation. *J. Anim. Sci.* **76** (1998), 2169-2176
- BOETTCHER, P.J.; CARAVIELLO, D.; GIANOLA, D.:
Genetic analysis of somatic cell score in US Holsteins with a Bayesian mixture model. *J. Dairy Sci.* **90** (2007), 435-443
- BRÜSSOW, K.-P.; KÖNIG, I.:
Ovarreaktion und Embryonenqualität bei Jungsauen nach Superovulationsstimulation für den Embryotransfer. *Mh. Vet.-Med.* **45** (1990), 143-149
- BRÜSSOW, K.-P.; WÄHNER, M.:
Biologische Potentiale in der Sauenfruchtbarkeit. *Züchtungsk.* **80** (2008) [in press]
- BUSKE, B.; STERNSTEIN, I.; BROCKMANN, G.:
QTL and candidate genes for fecundity in sows. *Anim. Reprod. Sci.* **95** (2006), 167-183
- CASEY, O.M.; MORRIS, D.G.; POWELL, R.; SREENAN, J.M.; FITZPATRICK, R.:
Analysis of gene expression in non-regressed and regressed bovine corpus luteum tissue using a customized ovarian cDNA array. *Theriogenology* **64** (2005), 1963-1976
- CASSADY, J.P.; JOHNSON, R.K.; POMP, D.; ROHRER, G.A.; VAN VLECK, L.D.; SPIEGEL, E.K.; GILSON, K.M.:
Identification of quantitative trait loci affecting reproduction in pigs. *J. Anim. Sci.* **79** (2001), 623-633
- CHRISTENSON, R.K.; LEYMASTER, K.A.; YOUNG, L.D.:
Justification of unilateral hysterectomy-ovariectomy as a model to evaluate uterine capacity in swine. *J. Anim. Sci.* **65** (1987), 738-744
- CUNNINGHAM, P.J.; ENGLAND, M.E.; YOUNG, L.D.; ZIMMERMAN, D.R.:
Selection for ovulation rate in swine: Correlated response in litter size and weight. *J. Anim. Sci.* **48** (1979), 509-516
- DAETWYLER, H.D.; SCHENKEL, F.S.; SARGOLZAEI, M.; ROBINSON, J.A.B.:
A Genome Scan to Detect Quantitative Trait Loci for Economically Important Traits in Holstein Cattle Using Two Methods and a Dense Single Nucleotide Polymorphism Map. *J. Dairy Sci.* **91** (2008), 3225-3236

- DAL ZOTTO, R.; DE MARCHI, M.; DALVIT, C.; CASSANDRO, M.; GALLO, L.; CARNIER, P.; BITTANTE, G.: Heritabilities and genetic correlations of body condition score and calving interval with yield, somatic cell score, and linear type traits in Brown Swiss cattle. *J. Dairy Sci.* **90** (2007), 5737-5743
- DE HAAS, Y.; BARKEMA, H.W.; VEERKAMP, R.F.: Genetic parameters of pathogen-specific incidence of clinical mastitis in dairy cows. *Anim. Sci.* **74** (2002), 233-242
- DE HAAS, Y.; JANSSE, L.L.; KADARMIDEEN, H.N.: Genetic correlations between body condition scores and fertility in dairy cattle using bivariate random regression models. *J. Anim. Breed. Gen.* **124** (2007), 277-285
- DE KONING, D.J.; RATTINK, A.P.; HARLIZIUS, B.; GROENEN, M.A.M.; BRASCAMP, E.W.; VAN ARENDONK, J.A.M.: Detection and characterization of quantitative trait loci for growth and reproduction traits in pigs. *Livest. Prod. Sci.* **72** (2001), 185-198
- FENTON, F.R.; BAZER, F.W.; ROBISON, O.W.; ULBERG, L.C.: Effect of quantity of uterus on uterine capacity in gilts. *J. Anim. Sci.* **31** (1970), 104-106
- FENWICK, M.A.; LLEWELLYN, S.; FITZPATRICK, R.; KENNY, D.A.; MURPHY, J.J.; PATTON, J.; WATHES, D.C.: Negative energy balance in dairy cows is associated with specific changes in IGF-binding protein expression in the oviduct. *Reprod.* **135** (2008), 63-75
- FERGUSON, J.D.; AZZARO, G.; LICITRA, G.: Body condition assessment using digital images. *J. Dairy Sci.* **89** (2006), 3833-3841
- FLORES, R.; LOOPER, M.L.; RORIE, R.W.; HALLFORD, D.M.; ROSENKRANS JR, C.F.: Endocrine factors and ovarian follicles are influenced by body condition and somatotropin in *postpartum* beef cows. *J. Anim. Sci.* **86** (2008), 1335-1344
- FOURICHON, C.; SEEGER, H.; BEAUDEAU, F.; VERFAILLE, L.; BAREILLE, N.: Health-control costs in dairy farming systems in western France. *Livestock Prod. Sci.* **68** (2001) 141-156
- FREKING, B.A.; LEYMASTER, K.A.; VALLET, J.L.; CHRISTENSON, R.K.: Number of fetuses and conceptus growth throughout gestation in lines of pigs selected for ovulation rate or uterine capacity. *J. Anim. Sci.* **85** (2007), 2093-2103
- FRIGGENS, N.C.; INGVAERTSEN, K.L.; EMMANS, G.C.: Prediction of Body Lipid Change in Pregnancy and Lactation. *J. Dairy Sci.* **87** (2004), 988-1000
- GHANEM, N.; HÖLKER, M.; RINGS, F.; JENNEN, D.; THOLEN, E.; SIRARD, M.A.; TORNER, H.; KANITZ, W.; SCHELLANDER, K.; TESFAYE, D.: Alterations in transcript abundance of bovine oocytes recovered at growth and dominance phases of the first follicular wave. *BMC Dev. Biol.* **7** (2007), 90-108
- GOSDEN, R.G.; TELFER, E.: Numbers of follicles and oocytes in mammalian ovaries and their allometric relationship. *J. Zool.* **211** (1987), 169-175
- GUILLAUME, F.; GAUTIER, M.; BEN JEMAA, S.; FRITZ, S.; EGGEN, A.; BOICHARD, D.; DRUET, T.: Refinement of two female fertility QTL using alternative phenotypes in French Holstein dairy cattle. *Animal Genetics* **38** (2007), 72-74
- GOSSEN, N.; FIETZE, S.; MOSENFECHEL, S.; HOEDEMAKER, M.: Relationship between body condition (back fat thickness and body condition scoring) and fertility in dairy cows (German Black Pied/HF). *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* **113** (2006), 171-177
- HANENBERG, E.H.A.T.; KNOL, E.F.; MERKS, J.W.M.: Estimates of genetic parameters for reproduction traits at different parities in Dutch Landrace pigs. *Livestock Prod. Sci.* **69** (2001), 179-186
- HARDER, B.; BENNEWITZ, J.; REINSCH, N.; THALLER, G.; THOMSEN, H.; KUHN, C.; SCHWERIN, M.; ERHARDT, G.; FORSTER, M.; REINHARDT, F.; KALM, E.: Mapping of quantitative trait loci for lactation persistency traits in German Holstein dairy cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* **123** (2006), 89-96
- HERINGSTAD, B.; GIANOLA, D.; CHANG, Y.M.; ODEGARD, J.; KLEMETSDAL, G.: Genetic associations between clinical mastitis and somatic cell score in early first-lactation cows. *J. Dairy Sci.* **89** (2006), 2236-2244
- HERINGSTAD, B.; KLEMETSDAL, G.; STEINE, T.: Selection responses for disease resistance in two selection experiments with Norwegian red cows. *J. Dairy Sci.* **90** (2007), 2419-2426
- HIENDLEDER, S.; THOMSEN, H.; REINSCH, N.; BENNEWITZ, J.; LEYHE-HORN, B.; LOOFT, C.; XU, N.; MEDJUGORAC, I.; RUSS, I.; KUHN, C.; BROCKMANN, G.A.; BLUMEL, J.; BREINIG, B.; REINHARDT, F.; REENTS, R.; AVERDUNK, G.; SCHWERIN, M.; FORSTER, M.; KALM, E.; ERHARDT, G.: Mapping of QTL for body conformation and behavior in cattle. *J. of Heredity* **94** (2003), 496-506

- HINRICH, D.; STAMER, E.; JUNGE, W.; KALM, E.:
Genetic analysis of several economically important disease traits in German Holstein cows. *Arch. Tierz.* **49** (2006), 209-221
- HOLMBERG, M.; ANDERSSON-EKLUND, L.:
Quantitative trait loci affecting fertility and calving traits in Swedish dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **89** (2006), 3664-3671
- JOHNSON, R.K.; PUMFREY, R.A.; JONES, A.S.K.; ZIMMERMAN, D.R.:
Embryo and fetal loss in gilts differing in ovulation rate. *J. Anim. Sci.* **53** (1981) Suppl. 1, 74
- JOHNSON, R.K.; NIELSEN, M.K.; CASEY, D.S.:
Responses in ovulation rate, embryonal survival, and litter traits in swine to 14 generations of selection to increase litter size. *J. Anim. Sci.* **77** (1999), 541-557
- KADOKAWA, H.; TAMEOKA, N.; UCHIZA, M.; KIMURA, Y.; YONAI, M.:
Short communication: a field study on the relationship between body condition and embryo production in superovulated Holstein yearling heifers. *J. Dairy Sci.* **91** (2008), 1087-1091
- KELLY, C.R.; KOPF, J.D.; ZIMMERMAN, D.R.:
Characterization of antral follicle populations during the estrous cycle in pigs selected for ovulation rate. *J. Anim. Sci.* **66** (1988), 1230-1235
- KHATKAR, M.S.; THOMSON, P.C.; TAMMEN, I.; RAADSMA, H.W.:
Quantitative trait loci mapping in dairy cattle: review and meta-analysis. *Genet.Sel Evol.* **36** (2004), 163-190
- KING, A.H.; JIANG, Z.; GIBSON, J.P.; HALEY, C.S.; ARCHIBALD, A.L.:
Mapping quantitative trait loci affecting femalereproductive traits on porcine chromosome 8. *Biol. Reprod.* **68** (2003), 2172-2179
- KISNER, V.; BRANDT, H.; GLODEK, P.; MÖLLERS B.:
Die Analyse von Sauenaufzucht-leistungen in der Versuchsstation Relliehausen zur Entwicklung von Kriterien der Wurfqualität. 3. Mitteilung: Schätzung genetischer Parameter für Wurfleistungen und Kriterien der Wurfqualität. *Arch. Tierz.* **39** (1996), 143-152
- KLAAS, I.:
Untersuchungen zum Auftreten von Mastitiden und zur Tiergesundheit in 15 Milchviehbetrieben Schleswig-Holsteins. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel **119** (2000)
- KNIGHT, J.W.; BAZER, F.W.; THATCHER, W.W.; FRANKE, D.E.; WALLACE, H.D.:
Conceptus development in intact and unilaterally hysterectomized-ovariectomized gilts: Interrelations among hormonal status, placental development, fetal fluids and fetal growth. *J. Anim. Sci.* **44** (1977), 620-637
- KRIETER, J.; HELLBRÜGGE, B.; TÖLLE, K.-H.; PRESUHN U.:
Gelassene Gemüter gesucht – Vermindern bessere Muttereigenschaften der Sauen die Saugferkelverluste? *Neue Landw.* **17** (2006), 66-68
- KÜHN, C.; BENNEWITZ, J.; REINSCH, N.; XU, N.; THOMSEN, H.; LOOFT, C.; BROCKMANN, G.A.; SCHWERIN, M.; WEIMANN, C.; HIENDLEDER, S.; ERHARDT, G.; MEDJUGORAC, I.; FORSTER, M.; BRENIG, B.; REINHARDT, F.; REENTS, R.; RUSS, I.; AVERDUNK, G.; BLUMEL, J.; KALM, E.:
Quantitative trait loci mapping of functional traits in the German Holstein cattle population. *J. Dairy Sci.* **86** (2003), 360-368
- KÜHN, C.; REINHARDT, F.; SCHWERIN, M.:
Marker assisted selection of heifers improved milk somatic cell count compared to selection on conventional pedigree breeding values. *Arch. Tierz.* **51** (2008), 23-32
- LAMBERSON, W.R.; JOHNSON, R.K.; ZIMMERMAN, D.R.; LONG, T.E.:
Direct responses to selection for increased litter size, decreased age at puberty or random selection following selection for ovulation rate in swine. *J. Anim. Sci.* **69** (1991), 3129-3143
- LEROY, J.L.M.R.; VANHOLDER, T.; VAN KNEGSEL, A.T.M.; GARCIA-ISPIERTO, I.; BOLS, P.E.J.:
Nutrient Prioritization in Dairy Cows Early Postpartum: Mismatch Between Metabolism and Fertility?. *Reprod. Dom. Anim.* **43** (2008), 96-103
- LIEFERS, S.C.; TE PAS, M.F.; VEERKAMP, R.F.; VAN DERLENDE, T.:
Associations between leptin gene polymorphisms and production, live weight, energy balance, feed intake, and fertility in Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* **85** (2002), 1635-1638
- MEUWISSEN, T.H.E.; HAYES, B.J.; GODDARD, M.E.:
Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* **157** (2001), 1819-1829
- MOSENFECHEL, S.; EIGENMANN, U.J.; WANNER, M.; RUSCH, P.:
Back fat thickness and fertility in Brown Swiss cows. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* **142** (2000), 679-689

- OSTERAS, O.; SOLBU, H.; REFSDAL, A.O.; ROALKVAM, T.; FILSETH, O.; MINSAAS, A.:
Results and Evaluation of Thirty Years of Health Recordings in the Norwegian Dairy Cattle Population. *J. Dairy. Sci.* **90** (2007), 4483-4497
- PETERSSON, K. J.; BERGLUND, B.; STRANDBERG, E.; GUSTAFSSON, H.; FLINT, A.P.F.; WOLLIAMS, J.A.; ROYAL, M.D.:
Genetic analysis of postpartum measures of luteal activity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* **90** (2007), 427-434
- PETERSSON, K.J.; STRANDBERG, E.; GUSTAFSSON, H.; ROYAL, M.D.; BERGLUND, B.:
Detection of delayed cyclicity in dairy cows based on progesterone content in monthly milk samples. *Prev. Veter. Med.* **86** (2008), 153-163
- PRYCE, J.E.; HARRIS, B.L.:
Genetics of body condition score in New Zealand dairy cows. *J. Dairy Sci.* **89** (2006), 4424-4432
- RATHJE, T.A.; ROHRER, G.A.; JOHNSON, R.K.:
Evidence for quantitative trait loci affecting ovulation rate in pigs. *J. Anim. Sci.* **75** (1997), 1486-1494
- REDMER, D.A.; WALLACE, J.M.; REYNOLDS, L.P.:
Effect of nutrient intake during pregnancy on fetal and placental growth and vascular development. *Dom. Anim. Endocrinol.* **27** (2004), 199-217
- RITTER, E.; FALKENBERG, H.:
Die Fitness des Schweines als Zucht- und Selektionsproblem. *Arch. Tierz.* **29** (1986), 65-74
- RÖHE, R.; KALM, E.:
Effiziente Zucht auf Fruchtbarkeit sollte Geburtsgewichte einbeziehen. *Schweinez. u. Schweinem.* **4** (1997), 38-40
- ROHRER, G.A.; FORD, J.J.; WISE, T.H.; VALLET, J.L.; CHRISTENSON, R.K.:
Identification of quantitative trait loci affecting female reproductive traits in a multigeneration meishan-white composite pigs population. *J. Anim. Sci.* **77** (1999), 1385-1391
- ROSENDO, A.; DRUET, T.; GOGUE, J.; CANARIO, L.; BIDANEL, J.P.:
Correlated responses for litter traits to six generations of selection for ovulation rate or prenatal survival in French Large White pigs *J. Anim. Sci.* **85** (2007), 1615-1624
- ROYAL, M.D.; PRYCE, J.E.; WOOLLIAMS, J.A.; FLINT, A.P.:
The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production, and linear type traits in Holstein-Friesian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **85** (2002), 3071-3080
- RUIZ-FLORES, A.; JOHNSON, R.K.:
Direct and correlated responses to two-stage selection for ovulation rate and number of fully formed pigs at birth in swine. *J. Anim. Sci.* **79** (2001), 2286-2297
- RUPP, R.; BOICHARD, D.:
Genetics of resistance to mastitis in dairy cattle. *Veterinary Res.* **34** (2003), 671-688
- SCHRODER, U.J.; STAUFENBIEL, R.:
Invited review: Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *J. Dairy Sci.* **89** (2006), 1-14
- SØRENSEN, A.C.; LAWLOR, T.; RUIZ, F.:
A survey on fertility in the Holstein populations of the world. *Proc Fertility in Dairy Cows – Bridging the Gaps*, 30-31 August 2007, Liverpool Hope University, Liverpool, UK, 17
- TÄUBERT, H.; HENNE, H.:
Große Würfe und wenig Ferkelverluste – ein erreichbares Zuchtziel beim Schwein? *Züchtungsk.* **75** (2003), 442-451
- VAN DER LENDE, T.; KAAL, L.M.; ROELOFS, R.M.; VEERKAMP, R.F.; SCHROOTEN, C.; BOVENHUIS, H.:
Infrequent milk progesterone measurements in daughters enable bull selection for cow fertility. *J. Dairy Sci.* **87** (2004), 3953-357
- VAN EERDENBURG, F.J.C.M.; KARTHAUS, D.; TAVERNE, M.A.M.; MERICS, I.; SZENCI, O.:
The relationship between estrous behavioral score and time of ovulation in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **85** (2002), 1150-1156
- VEERKAMP, R.F.; BEERDA, B.:
Genetics and genomics to improve fertility in high producing dairy cows. *Theriogenology* **68** (2007), 266-273
- WALL, R.J.; POWELL, A.M.; PAAPE, M.J.; KERR, D.E.; BANNERMAN, D.D.; PURSEL, V.G.; WELLS, K.D.; TALBOT, N.; HAWK, H.W.:
Genetically enhanced cows resist intramammary *Staphylococcus aureus* infection. *Nature Biotechnology* **23** (2005), 445-451
- WATHES, D.C.; BOURNE, N.; CHENG, Z.; MANN, G.E.; TAYLOR, V.J.; COFFEY, M.P.:
Multiple correlation analyses of metabolic and endocrine profiles with fertility in primiparous and multiparous cows. *J. Dairy Sci.* **90** (2007), 1310-1325

- WILKIE, P.J.; PASZEK, A.A.; BEATTIE, C.W.; ALEXANDER, L.J.; WHEELER, M.B.; SCHOOK, L.B.:
A genomic scan of porcine reproductive traits reveals possible quantitative trait loci (QTLs) for number of corpora lutea. *Mamm. Genome* **10** (1999), 573-578
- WILSON, M.E.; BIENSEN, N.; FORD, S.P.:
Novel insight into the control of litter size in pigs using placental efficiency as a selection tool. *J. Anim. Sci.* **77** (1999), 1654-1658
- WU, M.C.; CHEN, Z.Y.; JARELL, V.L.; DZUIK, P.J.:
Effect of initial length of uterus per embryo on fetal survival and development in the pig. *J. Anim. Sci.* **67** (1989), 1767-1722
- XU, N.Y.; PAUL, S.; BENNEWITZ, J.; REINSCH, N.; THALLER, G.; REINHARD, F.; KUHN, C.; SCHWERIN, M.; ERHARDT, G.; WEIMANN, C.; THOMSEN, H.; MISHRA, S.; KALM, E.:
Confirmation of quantitative trait loci for somatic cell score on bovine chromosome 18 in the German Holstein. *Arch. Tierz.* **49** (2006), 111-119
- ZSCHORLICH, B.; RITTER, E.:
Verbesserung der Wurfqualität durch züchterische Maßnahmen. *Tierzucht* **43** (1989), 263-265

Autoren:

Prof. Dr. WILHELM KANITZ*

Prof. Dr. KLAUS-PETER BRÜSSOW

PD Dr. CHRISTA KÜHN

Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere

Wilhelm-Stahl-Alle 2

18196 Dummerstorf

Deutschland

Dr. sc. ANTKE-ELSABE BUGISLAUS

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Universität Rostock

Justus-von-Liebig-Weg 8

18059 Rostock

Deutschland

Prof. Dr. WINFRIED MATTHES

PD Dr. ANKE WANGLER

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei

Mecklenburg-Vorpommern

Dorfplatz 1

18276 Gülzow

Deutschland

*korrespondierender Autor

E-Mail: wkanitz@fhn-dummerstorf.de

ARCHIV FÜR TIERZUCHT ARCHIVES OF ANIMAL BREEDING

JAHRGANG 51

2008

SONDERHEFT

Inhalt

STOCK, M.: Klimawandel und Szenarien für Deutschland und ihre möglichen Folgen für Land- und Wasserwirtschaft	5
BALMANN, A.; SCHAFT, F.: Zukünftige ökonomische Herausforderungen der Agrarproduktion: Strukturwandel vor dem Hintergrund sich ändernder Märkte, Politiken und Technologien	13
THALLER, G.: Perspektiven der Tierzucht im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Praxis	25
RODEHUTSCORD, M.: Ansatzpunkte zur Schonung der begrenzten Phosphorressourcen	39
METTENLEITER, T.C.; BOEHLE, W.W.: Erregerbedingte Erkrankungen unter veränderten Umweltbedingungen	49
VON BORELL, E.; SCHÄFFER, D.: Tiergerechte Nutztierhaltung – Eine Feldstudie auf der Basis von Kritischen Kontrollpunkten in der Schweinehaltung	57
FLACHOWSKY, G.: Wie kommen wir zu CO ₂ -Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft?	67
KANITZ, W.; BRÜSSOW, K.-P.; BUGISLAUS, A.-E.; KÜHN, CH.; MATTHES, W.; WANGLER, A.: Verbesserung funktionaler Merkmale: Eine Herausforderung zur vertieften Phänotypisierung	83

ARCHIV FÜR TIERZUCHT ARCHIVES OF ANIMAL BREEDING

VOLUME 51

2008

SPECIAL ISSUE

Content

STOCK, M.: Climate change and scenarios for Germany and potential impacts on land and water management	5
BALMANN, A.; SCHAFT, F.: Future economic challenges in agricultural production: Structural change in the face of changing markets, policies and technologies	13
THALLER, G.: Prospects of animal breeding in tension between science and practice	25
RODEHUTSCORD, M.: Approaches for saving limited phosphate resources	39
METTENLEITER, T.C.; BOEHLE, W.W.: Infectious diseases in a changing environment	49
VON BORELL, E.; SCHÄFFER, D.: Welfare conform farm animal housing – a field study based on Critical Control Points from pig farms	57
FLACHOWSKY, G.: How do we receive CO ₂ -footprints for food of animal origin?	67
KANITZ, W.; BRÜSSOW, K.-P.; BUGISLAUS, A.-E.; KÜHN, CH.; MATTHES, W.; WANGLER, A.: Improvement of functional traits: a challenge for a profound characterisation of phenotypes	83