

Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Ed.)

## Research Report

Vorträge zur Hochschultagung 2014 "Landwirtschaft: Im Dilemma zwischen Weltmarkt- und gesellschaftlichen Ansprüchen?" der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, No. 121

## Provided in Cooperation with:

Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Universität Kiel

*Suggested Citation:* Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Ed.) (2014) : Vorträge zur Hochschultagung 2014 "Landwirtschaft: Im Dilemma zwischen Weltmarkt- und gesellschaftlichen Ansprüchen?" der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, No. 121, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/121423>

### Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

### Terms of use:

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

**Vorträge  
zur Hochschultagung 2014**

**„Landwirtschaft:  
Im Dilemma zwischen Weltmarkt- und  
gesellschaftlichen Ansprüchen?“**

der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Unredigierte Informationsschrift**

Beiträge in ausschließlicher wissenschaftlicher  
und auch redaktioneller Verantwortung  
der jeweiligen Autoren

## INHALTSVERZEICHNIS

---

|                                                                                                                                                              | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Eröffnungsworte</b> des<br>Dekans der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät<br>Professor Dr. Dr. h.c. Rainer Horn                              | 6     |
| <b>Grußworte</b> des Präsidenten der<br>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel<br>Professor Dr. Dr. h.c. Gerhard Fouquet                                    | 13    |
| Dr. Josef Schmidhuber<br>FAO, Rom                                                                                                                            | 16    |
| <b>Sicherung der globalen Lebensmittel- und Energieversorgung</b>                                                                                            |       |
| Dr. Dörthe Holthusen, Professor Dr. Dr. h.c. Rainer Horn,<br>MSc Amrei Völkner<br>Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde                              | 32    |
| <b>Können Gärreste aus der Biogasgewinnung ohne nachteilige<br/>Folgen für die Bodenfruchtbarkeit appliziert werden?</b>                                     |       |
| Professorin Dr. Antje Herrmann, Professor Dr. Friedhelm Taube<br>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung                                               | 41    |
| <b>Umwelteffekte von Biogasproduktionssystemen in den<br/>verschiedenen Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins</b>                                            |       |
| Juniorprofessorin Dr. Steffi Wiedemann<br>Institut für Tierzucht und Tierhaltung                                                                             | 49    |
| <b>Beeinflusst die Fütterungsintensität von tragenden Färsen<br/>oder neugeborenen Kälbern langfristig die Gesundheit und<br/>Produktivität von Rindern?</b> |       |
| Dr. Ralf Blank, Professor Dr. Andreas Susenbeth<br>Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie                                                    | 57    |
| <b>Einfluss von organischen Säuren auf die Effizienz von Phytase<br/>beim Schwein</b>                                                                        |       |

|                                                                                                                                                                                                                  |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Dr. Hans-Georg Walte<br>Max-Rubner-Institut, Kiel<br><b>Nahrungsketten-Transfer von Aflatoxinen am Beispiel von Aflatoxinen in Futtermitteln und Milch</b>                                                       | Seite<br>62 |
| Dr. Wilhelm Bockelmann, Jan Kabisch<br>Max-Rubner-Institut, Kiel<br><b>Einsatz von Antibiotika in der Tierproduktion und Entstehung von Antibiotikaresistenzen – Auswirkungen auf die Lebensmittelsicherheit</b> | 69          |
| Professor Dr. Carsten Schulz<br>Institut für Tierzucht und Tierhaltung<br><b>Neue Wege in der Ernährung von Fischlarven</b>                                                                                      | 77          |
| Dr. Kathrin Pallauf, Professor Dr. Gerald Rimbach<br>Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde<br><b>Wie nachhaltig sind die gesundheitlichen Wirkungen kalorischer Restriktion</b>                      | 87          |
| Juniorprofessorin Dr. Anika Wagner, Professor Dr. Frank Döring<br>Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde<br><b>Gesundheitliche Bewertung von Obst und Gemüse – aktuelle Befunde</b>                   | 92          |
| MSc Steffi Dierks, Professor Dr. Martin Schellhorn<br>Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre<br><b>Was ist ein realistisches Abnehmziel? Erwartungen an ein Online-Gewichtsreduktionsprogramm</b> | 96          |
| Professor Dr. Joachim Krieter, Tierärztin Irena Czycholl<br>Institut für Tierzucht und Tierhaltung<br><b>Lässt sich Tierwohl messen?</b>                                                                         | 105         |
| Juniorprofessorin Dr. Birgit Schulze<br>Institut für Agrarökonomie<br><b>Konflikte um die Nutztierhaltung – Tierwohlstandards als Lösung?</b>                                                                    | 115         |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| MSc Ernst Christian Albrecht, Dr. Nana Zarnekow, Professor Dr. Dr.<br>Christian Henning<br>Institut für Agrarökonomie<br><b>Tatsächliche Kosten und gesellschaftliche Zahlungsbereitschaften für ökologische Leistungen landwirtschaftlicher Betriebe:<br/>Eine modellgestützte Analyse für Schleswig-Holstein</b> | Seite<br>123 |
| Professor Dr. Jens-Peter Loy<br>Institut für Agrarökonomie<br><b>Analyse saisonaler Preisaufschläge für Brotweizen</b>                                                                                                                                                                                             | 131          |
| Professor Dr. Uwe Latacz-Lohmann<br>Institut für Agrarökonomie<br><b>Einbeziehung der Landwirtschaft in die Klimaschutzpolitik –<br/>Möglichkeiten und Grenzen</b>                                                                                                                                                 | 138          |

## **Eröffnung**

Rainer Horn

Dekan der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät

Sehr geehrter Herr Präsident Fouquet,  
Sehr geehrter Herr Minister Dr. Habeck,  
sehr geehrter Herr Dr. Schmidhuber  
meine sehr geehrten Damen, meine Herren!

Zur 64. öffentlichen Hochschultagung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät heiße ich Sie ganz herzlich willkommen. Ich begrüße Sie auch im Namen der Mitveranstalter: der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, dem VdL-Landesverband Schleswig-Holstein und der Gesellschaft der Freunde der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät.

Als Hausherrn der CAU begrüße ich den Herrn Präsidenten, Prof. Dr. Dr.hc. Fouquet. Magnifizenz, lieber Herr Fouquet, ich freue mich, dass Sie auch in Ihrem letzten Amtsjahr als für die CAU Kiel sehr verdienstvoller Präsident ein Grußwort zu uns sprechen werden und damit die enge Beziehung zwischen Präsidium und Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät zum Ausdruck bringen. Die Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät ist zwar personalmäßig nur klein, aber trotzdem sehr leistungsfähig, was seitens Ihres Präsidiums auch gesehen wird. Trotz sicherlich häufig finanziell sehr begrenzter Spielräume sind wir dankbar für die stete auch finanzielle Unterstützung. Die Fakultät hat sich in den vergangenen Jahren zu dem entwickelt, womit wir heute nicht nur in Deutschland einen vorderen Rang in der Akzeptanz und Sichtbarkeit erreicht haben, auch international stehen wir mit Partnern auf allen Kontinenten in regem Wissenschafts- und Studierendenaustausch.

Es ist mir eine besondere Freude, den Minister für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Herrn Dr. Habeck, begrüßen zu dürfen. Sehr geehrter Herr Minister, Ihre Zusage zur Teilnahme an der heutigen Hochschultagung dokumentiert einmal mehr das hohe und auch persönliche Interesse Ihres Hauses an unserer Fakultät. In der Tat haben Sie uns wiederholt die Ehre gegeben, unsere Fakultät und auch unsere Absolventen mit Ihren Ideen und Gedanken zu bereichern. Uns allen drängen sich die Fragen auf, wie z.B. die Lebensmittelproduktion und –sicherheit für eine wachsende Weltbevölkerung, bei

gleichzeitig geringer werdenden landwirtschaftlichen Nutzflächen gesteigert werden kann neben der Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Lösung der Frage nach der Vereinbarkeit von Nahrungsmittelproduktion und nachwachsenden Rohstoffen unter dem Schlagwort Teller oder Tank, aber auch die notwendigen Ansätze für eine intensified Sustainability unter dem Gesichtspunkt der Vereinbarkeit von Produktivität und Biodiversität in einer durch Klimawandel gleichermaßen bedrohten Umwelt muss man eigentlich als Quadratur des Kreises zusammenfassen. Es sind sicherlich Herkulesaufgaben, die in absehbarer Zeit aber einer auch nachhaltig wirkenden Lösung näher gebracht werden müssen.

Des Weiteren begrüße ich aus dem gleichen Ministerium Herrn Dr. Finck, Herrn Starck sowie aus dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit Verkehr und Technologie Herrn Wehking. Ich freue mich, dass außerdem von LLUR Herr Direktor Vogel als langjähriger Ansprechpartner auch für die Belange unserer Fakultät anwesend ist. Gerade die Verbindung zwischen dem LLUR und unserer Fakultät muss zu einer stärkeren Achse auch in der gemeinsamen Forschung und Umsetzung der vorhandenen Erkenntnisse in der Landespolitik ausgebaut werden. Inwiefern dies im Zusammenhang mit der Neuausschreibung der Interreg 5 Programme und/oder dem EU Horizon 2020 zeitnah realisiert werden kann, sollten wir baldmöglichst diskutieren.

Ich begrüße die Abgeordneten des SH Landtages, Herrn Eickhoff-Weber, Herrn Götsch und Herrn Rickerts von der CDU sowie Herrn Kumbartsky als Sprecher für Energie, Tourismus Agrar und Umwelt der FDP.

Herzlich willkommen heiße ich die beiden Vizepräsidenten des Bauernverbandes SH, Herrn Lucht und Herrn Lüscho, sowie den Generalsekretär Herrn Goullon, ferner den Generalsekretär des Bauernverbandes Hessen, Herrn Voss Fels, sowie Herrn Prof. Dr. Schumann vom Bauernverband Sachsen Anhalt.

Als langjährigen Ansprechpartner unserer Fakultät begrüße ich besonders herzlich Herrn Heller, Präsident der Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein, sowie Herrn Dr. Wiermann. Von der Hauptgenossenschaft Nord begrüße ich herzlich Herrn Dr. Schlenz, als Vertreter des Vorstands der Raiffeisengenossenschaft Herrn Dr. Schwier sowie Herrn Prof. Block von der Gesellschaft für Energie und Klimaschutz SH, die Herren von Hobe und von Hippel von der Schleswig Holstein Landgesellschaft und Stiftung SH. Weiterhin begrüße ich herzlich Frau Prof. Dr. Oesser vom Lebensmittelinstitut Neumünster.

Meine Dame und Herren, die Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät ist dankbar, dass wir mit Ihnen und vielen weiteren hier nicht namentlich erwähnten Kooperationspartnern und langjährigen treuen Wegbegleitern eine über viele Jahre sehr positive und vor allem stets konstruktive Zusammenarbeit pfl-



gen konnten und freuen uns über weitere interessante Arbeiten in den kommenden Jahrzehnten.

Ich begrüße den Dekan des Fachbereichs Agrarwissenschaften in Rendsburg, Herrn Prof. Braatz.

Stellvertretend für die Gäste des Max Rubner-Instituts begrüße ich Herrn Prof. Heller.

Meine Damen und Herren, das Leitthema der 64. öffentlichen Hochschultagung ist dieses Jahr als Frage formuliert und lautet

„Landwirtschaft: Im Dilemma zwischen Weltmarkt- und gesellschaftlichen Ansprüchen?“ Es behandelt damit einen Aspekt, der weltweit von höchstem Interesse ist und den auch die Kollegen und -innen der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät seit vielen Jahren mit großem Engagement auch vorausschauend bearbeiten. Es geht um das Problem, wie kosteneffizient und gleichzeitig nachhaltig darüber hinaus im Vergleich zu der jetzigen Produktion ca. 70% zusätzliche Nahrungsmittel etc. für die Weltbevölkerung zu vertretbaren Preisen produziert werden können und inwiefern durch standortangepasste Landnutzung, Züchtung und Weiterverarbeitung die Sicherung der Welternährung gewährleistet werden kann.

Hierbei darf natürlich nicht unberücksichtigt bleiben, dass weltweit täglich 300 km<sup>2</sup> Böden irreversibel verlorengehen und/oder die jährlichen Bodenverluste durch Erosion in Höhe von ca. 4 to pro Einwohner die Bodendegradation weiter verschärfen, ganz abgesehen davon, dass durch Meeresspiegelanstieg weltweit knapp 50 % der Bevölkerung direkt betroffen und teilweise hochproduktive Böden bzw. ganze Bodenlandschaften zukünftig als Aquakulturregionen dienen werden.

Können wir uns in diesem Kontext eigentlich überhaupt die Ausweitung des Bioenergiepflanzenanbaus noch leisten, wenn man auch die Umweltfolgen sowohl für die Atmosphäre, aber besonders für den Boden unter dem Aspekt der verstärkten Bodendegradation mit Folgen für den Bodenabtrag und das Grundwasser, von den globalen Atmosphäreneffekten ganz zu schweigen mit berücksichtigt.

Ökologie und Ökonomie müssen unter dem Aspekt der Vollkostenrechnung in einem ausgeglichenen Haushalt münden. Die Frage: dürfen wir so weiterwirtschaften oder müssen wir unter dem Aspekt der intensified sustainability nicht die Inwertsetzung einzelner Komponenten der Ökosysteme neu überdenken- klar ist, dass wir unter dem Aspekt der Produktivität und Optimierung die Faktoren: knappe landwirtschaftliche Fläche, nachhaltige und gesunde Ernährung, ethische Akzeptanz der Produktion und Konsumption sowie Minimierung der Umweltverschmutzung in ihrer jeweiligen Bedeutung quantifizieren müssen. Alleine die Tatsache, dass der 3. größte Klimagasproduzent die weggeworfenen produzierten

Lebensmittel etc. sind, muss uns klarmachen, dass wir verstärkt nach Auswegen aus dem Dilemma zwischen Weltmarkt- und gesellschaftlichen Ansprüchen für die Landwirtschaft suchen müssen. Die verschiedenen Facetten dieser Zusammenhänge wollen wir mit Ihnen heute diskutieren. Vor diesem Hintergrund freue ich mich besonders, dass wir mit Herrn Dr. Schmidhuber von der FAO Rom einen international anerkannten Fachmann für den Hauptvortrag zum Thema Sicherung der globalen Lebensmittel- und Energieversorgung gewinnen konnten. Ich danke Ihnen sehr, dass Sie sich die Zeit genommen haben, uns Ihre Gedanken zu diesem Thema nahezubringen. Seien Sie uns herzlich willkommen.

Unsere Studiengänge sind nach wie vor sehr gut nachgefragt. Und dies liegt letztendlich auch daran, dass Themen wie Ernährung, Gesundheit, Landwirtschaft und Umwelt in der Gesellschaft präsent sind und von der Bevölkerung zunehmend kritisch hinterfragt werden. Wir sind gehalten, Antworten auf drängende Fragen der Land- und Umweltwissenschaft und vor allem auch entsprechende Erläuterungen der Prozesse zu geben. Daher haben im WS 2013/14 wiederum 331 Studierende das Bachelorstudium für Agrarwissenschaft begonnen und 104 (25 externe) Studierende im Masterstudiengang Agrarwissenschaft.

Im Bachelorstudiengang Ökotoxikologie haben 108 Studierende begonnen und weitere 49 in den beiden Masterstudiengängen. Diese Zahlen machen aber gleichzeitig ein Dilemma deutlich: da wir in den Agrarwissenschaften in den vergangenen Jahren nie die definierte Numerus clausus Anzahl erreicht hatten und deshalb die Beschränkung aufgehoben wurde, werden wir jetzt regelmäßig mit Studierenden überflutet, die wir alle ausbilden müssen/dürfen. Dank der weiterhin zugesagten HSP Mittel durch das Präsidium können wir in der Fakultät aber die durch die größere Studierendenzahl natürlich auch angewachsenen Exkursions- und Lehrauftragskosten abdecken.

In unseren internationalen Studiengängen sind insgesamt 124 Studierende in diesem Semester eingeschrieben – das sind ca. 5 % unserer Studierenden an der gesamten Fakultät. Die Masterstudiengänge „Environmental Management“, die Erasmus-Mundus Studiengänge „Applied Ecology“ und „Ecohydrology“ sowie der nunmehr im 2. Jahr angebotene Studiengang „AgriGenomics“ erfreuen sich alle sehr großer Beliebtheit und bringen uns jährlich ausländische Studierende von nahezu allen Kontinenten nach Kiel. Mit dem in Planung befindlichen 5. Internationalen Masterstudiengang „Dairy Sciences“, in Kooperationen u.a. mit der Aarhus University, stellen wir dann die Hälfte der insgesamt an der Uni angebotenen internationalen Masterprogramme.

Die Systemakkreditierung ist geräuschlos aber nicht ohne immensen Arbeitsaufwand für das Prüfungsamt und den Studiendekan über die Bühne gegangen, so dass wir ab diesem WS nun ein 6-semestriges Bachelorstudium und ein darauf aufbauendes 4-semestriges Masterprogramm den Studierenden anbieten.

Meine Damen und Herren, lassen Sie mich an dieser Stelle noch einige nachdenkliche Bemerkungen zu einer die ganze Universität schockierenden Neuausrichtung der Hochschullandschaft im Hinblick auf das Promotionsverfahren machen. Unsere bisherige Stellung als Volluniversität soll im Zusammenhang mit der Verleihung von Doktorgraden - Schleswig-Holstein spezifisch- untergraben werden, indem nun auch die Fachhochschulen das Recht der Promotion erhalten sollen, ohne dass sie über die entsprechenden Forschungs- und vor allem auch für die Promovierenden essentiellen wissenschaftlichen Aus- und Fortbildungsansätze verfügen.

Aus unserer Sicht liegt das Promotionsrecht eindeutig bei der Universität und darf nicht durch politische Alleingänge in Frage gestellt werden. Wissenschaft soll die Grundlagen unserer Existenz erforschen und sichern. Ohne eine entsprechende Konzentrierung der Kräfte und Mittel ist der starke Spezialisierungsgrad und eine auch im nationalen und internationalen Bereich optimale Positionierung der Leistungen der Wissenschaftler durch eine kombinierte Lehre und Forschung nicht zu erreichen. Dabei geht es nicht darum, die mehr praxisnahen Forschungsarbeiten an anderen Lehreinrichtungen zu unterbinden. Die Einordnung der einzelnen Forschungs- und Lehreinrichtungen in das Gesamtsystem Hochschule ist aber unabdingbar notwendig und auch nicht diskreditierend.

Meine Damen und Herren, im vergangenen Jahr wurde der A&E Fakultät in einer Umfrage vom VDL bescheinigt, dass das Studium sehr gut aufeinander abgestimmt ist und auch die Professoren und Lehrenden mit großer Motivation die Lehrinhalte verständlich und auf die Studierenden zugehend dargeboten werden. Der Begriff der Qualitätssicherung unserer Lehre wird nach wie vor oberste Priorität haben, denn wir wollen unsere Führungsposition in Deutschland halten. Der Slogan: Kiel ist eine Reise wert, und es ist schon etwas ganz Besonderes dort zu studieren, wo andere nur Urlaub machen, wird unsererseits mit Leben ausgefüllt. Von Zeit zu Zeit gilt es nicht nur zwischen Land und Universität, sondern auch zwischen Präsidium und den Fakultäten Zielvereinbarungen zu schließen über unsere nächsten größeren innerfakultären Projekte- unseren Zielen. Hier sind wir auf gutem Wege und die Fakultät läuft auf sicheren Gleisen. Da Lehre und Forschung aber unabdingbar miteinander verknüpft sind, ist die Einwerbung erheblicher Drittmittel in allen Instituten der Fakultät essentiell. Aus der Sicht der Fakultät hat daher in den letzten 2 Monaten für viele Kollegen und – innen die Vorbereitung größerer interdisziplinärer Forschungsprojekte im Rahmen der BONARES Ausschreibung des BMBF im Vordergrund gestanden – seitens des Geldgebers winkt man mit bis zu 9 Jahren Forschungsgeld, was momentan in dem 2stufigen Antragsverfahren zu Anträgen von knapp 30 Mio € geführt hat- Sie sollten bitte alle die Daumen drücken, dass diese Mittel tatsächlich nach Kiel kommen- denn wir haben genug exzellente Ideen. Daneben sind verschiedene

Kollegen in jüngster Zeit auch mit seit langem nur noch spärlich fließenden DFG Mitteln für gemeinsame Forschungen bedacht worden – es ist ein mühsames Verfahren – aber getreu dem Motto- für gute Ideen gibt es immer noch Mittel, machen wir unverzagt weiter. Natürlich stellt man sich als Antragsteller die Frage, ob nicht durch etwas üppiger fließende Landesmittel die Kontinuität der Forschung und auch der Erhalt der Erkenntnisse in den Instituten verbessert werden sollte. Wir (d.h. auch die CAU insgesamt) wollen und müssen stets diese immer schneller rotierende Spirale mitgehen und wissen doch gleichzeitig, dass wir damit in eine vielleicht zu starke Abhängigkeit von Drittmittelprojekten und so von den Geldgebern von aussen geraten. Wissenschaft muss auch in Zukunft frei von dem ausschließlichen „Liefern“ von Ergebnissen, die wieder als Voraussetzung gesehen werden, um die nächsten Millionen zu bekommen, sein und bleiben. Daher diskutiert bereits heute eine kleine Gruppe im Hinblick auf die im Jahre 2017 auslaufende Förderung der Exzellenzcluster unter dem Kennwort „Kiel Life Sciences“ Zukunftsvisionen der Forschungsaspekte – man könnte es auch „CAU Horizon 2030“ nennen.

Seitens des Dekanats wollen wir versuchen, in hoffentlich naher Zukunft größere DFG finanzierte Verbünde innerhalb der Universität oder in Form eines Transregios mit bis zu 3 Antragstellern in der Bundesrepublik zu einem gemeinsamen Forschungsthema unter der Leitung unserer Fakultät auf die Beine zu stellen. Ideen gibt es genügend, nur die dafür heute erforderliche zusätzliche Zeit der Vorbereitung und des Schreibens sowie Koordinierens erfordert tatsächlich eine Leidenschaft für die Wissenschaft, die dann zwangsläufig auch Leiden schafft für die engere familiäre und weitere Umgebung innerhalb der Institute und darüber hinaus. Hier müssen wir flankierend mit kurzfristigen Stellenzuweisungen helfend eingreifen.

Ohne zu sehr ins Detail zu gehen, sind wir nach Auswertung der bekannten Statistiken der Universität alles in allem trotzdem sehr erfolgreich. Im Schnitt werben wir für jede feste Landesstelle über Drittmittel eine zusätzliche Stelle ein – das macht uns so leicht keiner nach. Damit liegen wir im internen Ranking innerhalb der Universität mit den ca. 7, Mio €/pro Jahr Drittmitteln sehr weit vorne. Die Mittelgeber sind weit gestreut, doch steuert auch die DFG einen beträchtlichen Betrag für die Forschung der Fakultät bei.

Meine Damen und Herren, nun noch ein paar Anmerkungen zum Programm.

Mit der Unterstützung des Landwirtschaftlichen Buchführungsverbandes wurde Ihnen das Programm zugesendet – vielen Dank an dieser Stelle an den Vorstandsvorsitzenden Herrn Bennemann und den Geschäftsführer Herrn Cordts.

Der Vormittag wird durch zwei Plenarvorträge von unserem Festredner Herr Dr. Schmidhuber von der FAO Rom sowie Herrn Kollegen Henning gestaltet, deren

Diskussion durch Herrn Heller, Präsident der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein geleitet wird.

In der Mittagspause gibt es Gelegenheit zum informellen Austausch bei einem Mittagsimbiss, der von der Flensburger Brauerei und von der Firma Böklunder gesponsert und von der Landwirtschaftskammer organisiert wird. Hierfür ganz herzlichen Dank!

Abschließend möchte ich mich bei den vielen Förderern der Hochschultagung, die ich noch nicht genannt habe, bedanken: Petersen Saatzucht, Planton, BASF SE, Raiffeisen HaGe, Bayer Crop Science, Claas, Krone, NPZ/Lembke, Rinderzucht SH, Landesverband der Lohnunternehmen, Amazon und den Mitveranstaltern: Landwirtschaftskammer, VDL und die GdF.

Ich wünsche nun der Veranstaltung einen guten Verlauf, Ihnen spannende Vorträge und anregende Diskussionen. Vielen Dank für die Aufmerksamkeit.

## Grußworte

Gerhard Fouquet

Präsident der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Sehr geehrter Herr Minister, lieber Herr Habeck,  
sehr geehrter Herr Präsident Heller,  
Spectabilis, lieber Herr Kollege Horn,  
verehrte Kolleginnen und Kollegen, meine sehr geehrten Damen und Herren!

Zur 64. öffentlichen Hochschultagung unserer Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät begrüße ich Sie im Namen des Präsidiums der Christian-Albrechts-Universität sehr herzlich und freue mich mit der Fakultät, dass das Tagungsprogramm einer ‚Landwirtschaft: Im Dilemma zwischen Weltmarkt- und gesellschaftlichen Ansprüchen?‘ wieder so gute Resonanz gefunden hat.

Am 21. Januar 1845 legte das Konsistorium der Kieler Universität einen Strukturplan der Kopenhagener Regierung vor. Diese Denkschrift stellte in bemerkenswerter Weise die Blaupause für die Entwicklung der kleinen, allenfalls in den segelreichen Sommersemestern 300 Studenten anlockenden Hochschule an der Förde hin zu einer Forschungsuniversität dar, wie sie in Göttingen und Berlin bereits entstanden war. Darin wird neben anderen neuen Lehrstühlen vornehmlich in den Naturwissenschaften auch eine Professur für Forst- und Landwirtschaft gefordert. Dass aus dem klugen Entwurf lange nichts wurde und es erst die Preußen brauchte, die 1872 die erste Professur für Landwirtschaftslehre einrichteten, steht dabei auf einem anderen Blatt. Ich erzähle dies nicht nur, um die üblichen Fouquetschen historischen Reminiszenzen darzubringen, sondern auch beiläufig darauf hinzuweisen, dass die späte Einrichtung eines landwirtschaftlichen Instituts symptomatisch für den Zustand der Kieler Universität seit je ist: im Vergleich schlecht ausgebaut und finanziert, aber erstaunlich gut. Glauben Sie es mir, ich untersuche gerade als Beitrag für die Festschrift zur 350-Jahrfeier unserer Universität den Universitätshaushalt im 19. und 20. Jahrhundert – eine Misere ohne Ende.

Und so ist es bis heute: Unsere Kieler Fakultät ist zwar die kleinste unter den universitären Agrarfakultäten in der Bundesrepublik, aber von der Forschung her eine der leistungsfähigsten und in der Lehre die Beste.

Es ist das Bestreben der Kieler Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät nicht nur in Forschung und Lehre ausgezeichnete Wissenschaft zu bieten, sondern die Erkenntnisse ihrer Grundlagenforschung wie ihrer eher angewandten Varianten auch einer breiteren, interessierten Öffentlichkeit bekannt zu machen, mit dieser Öffentlichkeit ganz konkret brennende gesellschafts-, wirtschafts-, umwelt- und ernährungspolitische Fragen zu diskutieren, Probleme etwa der Biogasproduktionssysteme, die gesellschaftlich im Sinne ihres Beitrags zu einer energiepolitischen Wende erwünscht sind, aber in ihren mehrdimensionalen Umwelteffekten erst erforscht werden, auch Fragen nach sozialer Gerechtigkeit, der sich unsere Universität in besonderer Weise verpflichtet sieht und die etwa bei der Erforschung einkommensbezogener Ungleichheiten bei physischer und psychischer Gesundheit in Deutschland eine Rolle spielt. Das sind zwei Aspekte von Themen oder Themenzusammenhängen, die bei dieser heutigen Tagung vorgestellt und nach dem erklärten Willen der Fakultät in ihren ganzheitlichen Dimensionen diskutiert werden sollen.

Wir als Präsidium verhandeln gerade mit allen Fakultäten über Zielvereinbarungen, so auch mit der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultäten. Es ist dabei vergleichsweise schon auffallend, wie sehr die Fakultät die Verbesserung ihrer Lehrbedingungen und die attraktive Erweiterung ihres Studienangebots gerade im Hinblick auf ihre vier internationalen Masterstudiengänge im Sinn hat. Und wenn dann noch ein fünfter internationaler Master zum Thema ‚Dairy Science‘ hinzukommt, verantwortet diese verhältnismäßig kleine Fakultät derzeit die Hälfte der internationalen Masterstudiengänge an der großen, weiten CAU. Ich hoffe, andere Fakultäten nehmen sich ein Beispiel daran.

Beispiel nehmen an der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät sollten sich andere auch im Hinblick auf die innere wie äußere Vernetzung ihrer Forschung. Im Inneren der Fakultät wollen sich die drei Versuchsbetriebe: Lindhof, Hohenschulen und Karkendamm, die den Präsidenten dieser Universität mit ca. 500 Hektar Land zum Großagrarier machen, ein vernetzendes interdisziplinäres Nutzungskonzept geben, was Forschung wie Lehre zugute kommen soll. Die Außenbeziehungen der Fakultät innerhalb der Universität, schon in zahlreichen Verbundforschungsvorhaben bis hin zu Exzellenzclustern erprobt, sollen durch ein gemeinsam mit der Medizinischen Fakultät im Forschungsschwerpunkt ‚Kiel Life Sciences‘ gegründetes Zentrum für präventive Ernährungs- und Lebensmittelforschung weiter ausgebaut werden. Und endlich die Vernetzung mit außeruniversitären Forschungsinstituten und industriellen Partnern manifestiert sich in besonderer Weise in FoCus, einem Kompetenznetzwerk zur Erforschung der Wertschöpfungskette Milch, das durch das BMBF gefördert wird. An ihm nehmen unter der koordinierenden Leitung der

Fakultät Partner aus Industrie und Forschung teil wie z.B. das Max-Rubner-Institut in Kiel oder das Leibniz-Institut für Nutztierbiologie in Dummerstorf. Die Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät lebt damit im kleineren Maßstab vor, was wir für die Christian-Albrechts-Universität seit 2008 im Größeren versuchen umzusetzen: Eine Volluniversität mit breiter fachlicher Diversifizierung zu sein und zugleich vier große, viele Fächer und mehrere Fakultäten vernetzende Forschungsschwerpunkte zu betreiben. Diese ‚Volluniversität verbundener Wissenschaftskulturen‘ ergänzt die alte, in der Tradition des späten 19. Jahrhunderts stehende Forschungsuniversität durch eine Forschungsuniversität neuen Typs. Diese neue Forschungsuniversität wurde in Kiel wie andernorts durch den Erfolg in der Exzellenzinitiative, aber auch in allen Formaten der Wissenschaftsförderung, hervorgetrieben wie sie sich exemplarisch in der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät abbilden. Diese Forschungsuniversität neuen Typs mit ihren internationalen Lehrformaten ist bei all ihrer Unfertigkeit gerade im Hinblick auf die Entwicklung nachhaltiger Strukturen die Zukunft unserer Universität, für die es sich lohnt zu arbeiten. Ihrer Öffentlichen Hochschultagung, verehrte Kolleginnen und Kollegen, meine sehr geehrten Damen und Herren, wünsche ich einen guten Verlauf und viel Belehrung in all den Dilemmata moderner Landwirtschaft.



# **Sicherung der globalen Lebensmittel- und Energieversorgung**

Josef Schmidhuber

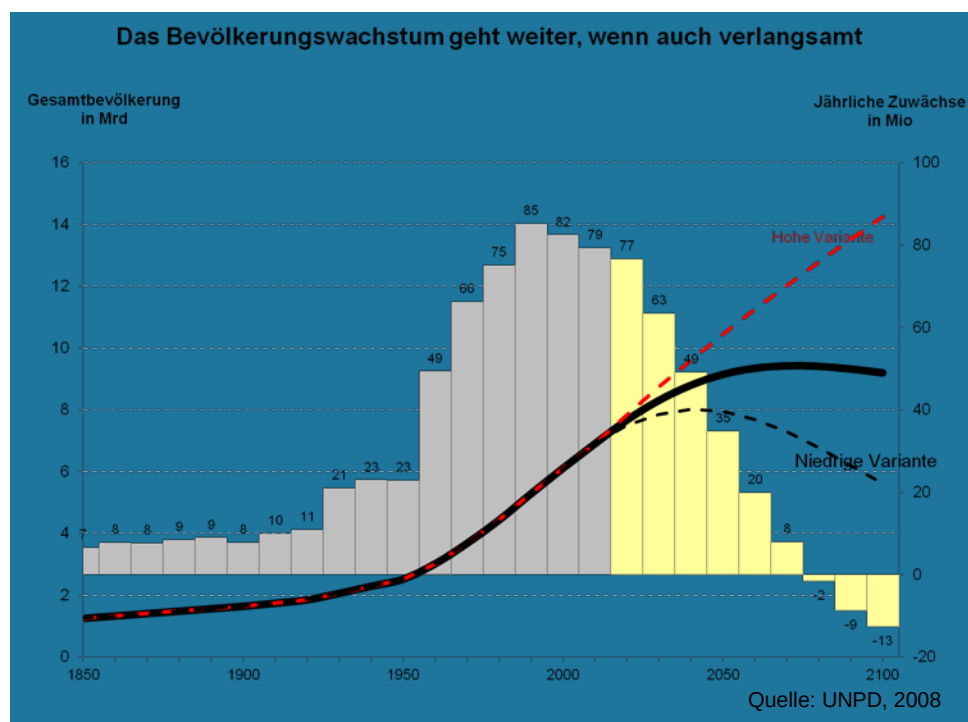
FAO, Rom

## **Sicherung der globalen Lebensmittel- und Energieversorgung**

**Ein Ausblick bis 2050 und darüber hinaus**

Dr. Josef Schmidhuber, FAO

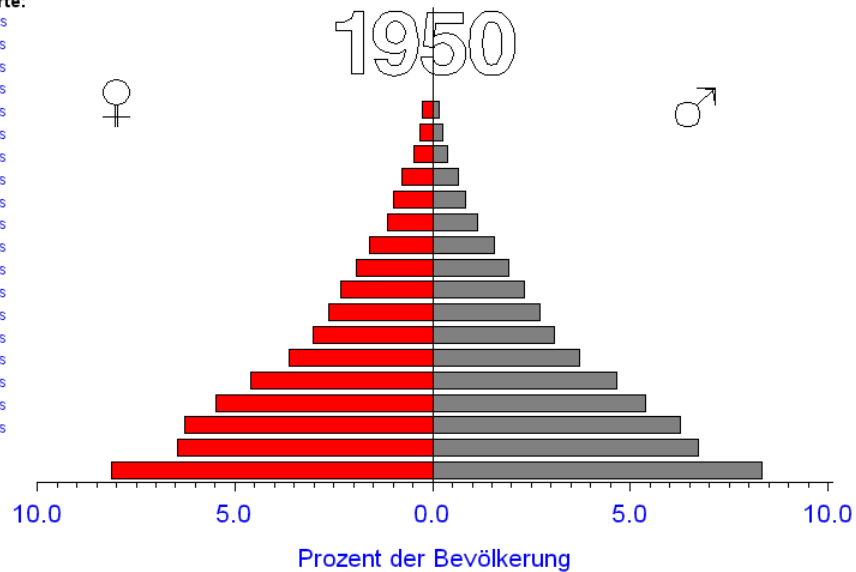
# Die wichtigsten Bestimmungsgründe



## Thailand: Bevölkerungsstruktur von 1950 bis 2050

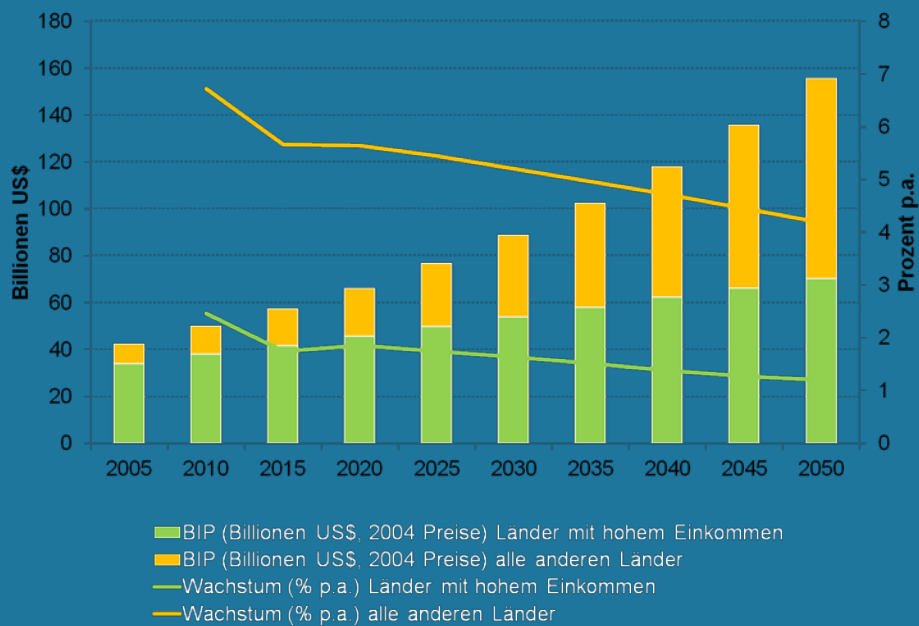
Alterskohorte:

100 + years  
95-99 years  
90-94 years  
85-89 years  
80-84 years  
75-79 years  
70-74 years  
65-69 years  
60-64 years  
55-59 years  
50-54 years  
45-49 years  
40-44 years  
35-39 years  
30-34 years  
25-29 years  
20-24 years  
15-19 years  
10-14 years  
5-9 years  
0-4 years

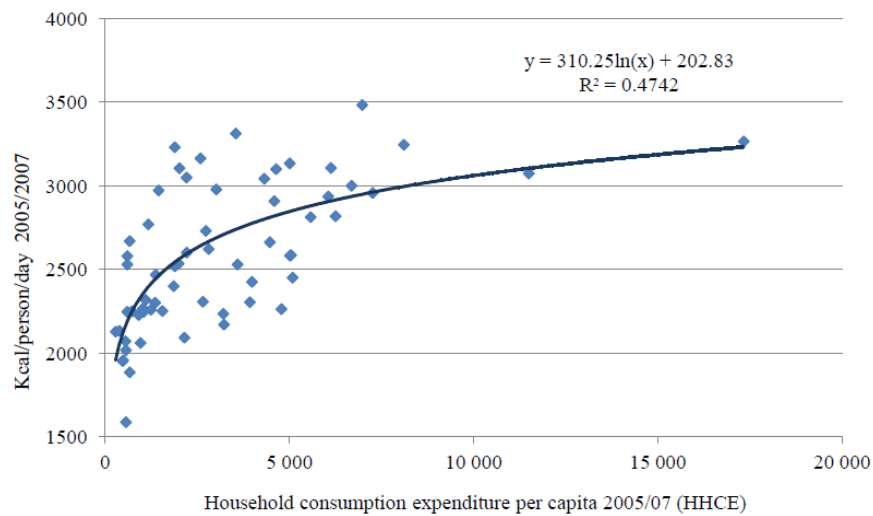


Datenbasis: UN 2012 (<http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>)  
Josef Schmidhuber (2013)

## Globales Einkommenswachstum bis 2050

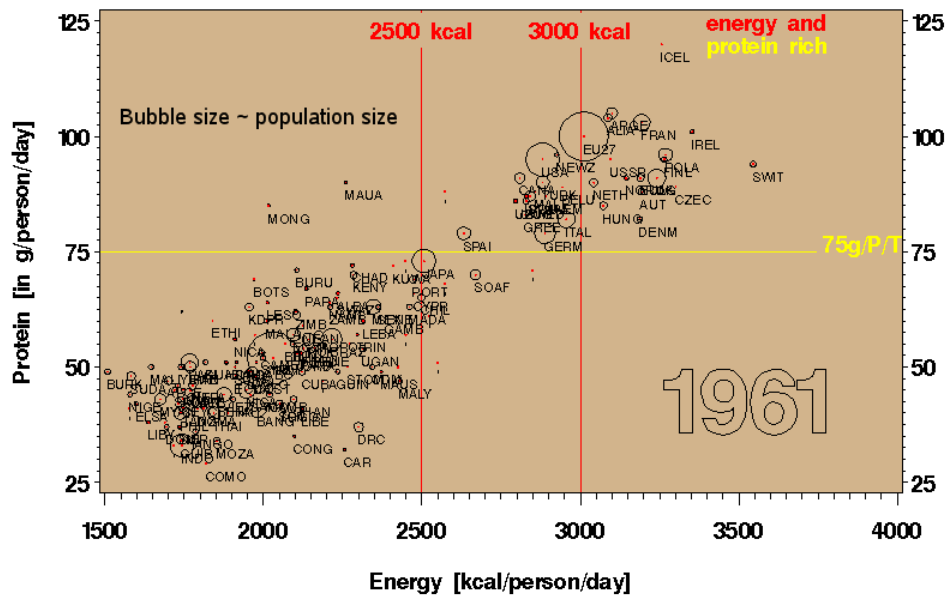


## Verbrauch (kcal/pc) und pro-Kopf Einkommen (62 Entwicklungsländer)



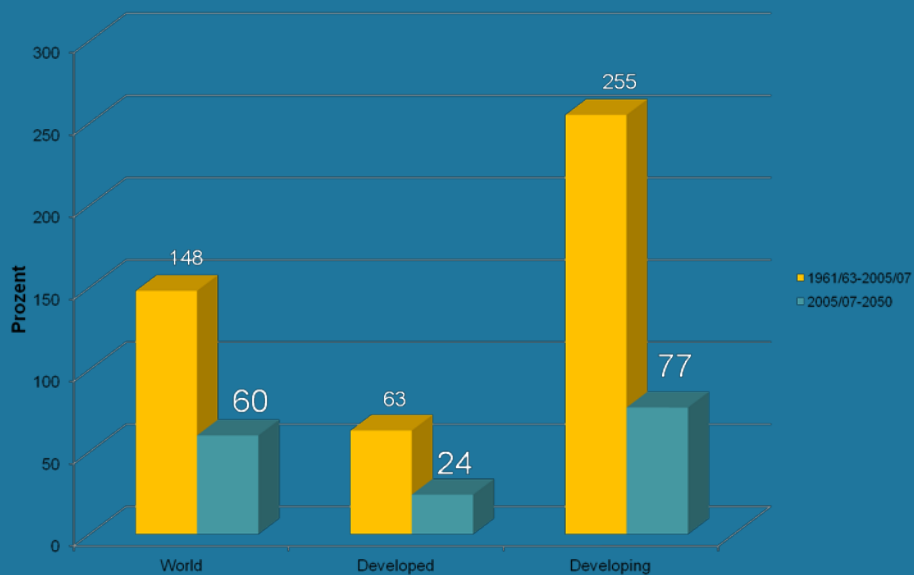
**Die wichtigsten  
Ergebnisse**

### Energy and Protein Content of the Diet, Total Availability (1961-2080)



Source: AT2050/80, Josef Schmidhuber, 2011

### Geschätzter Produktionsanstieg im Aus- und Rückblick



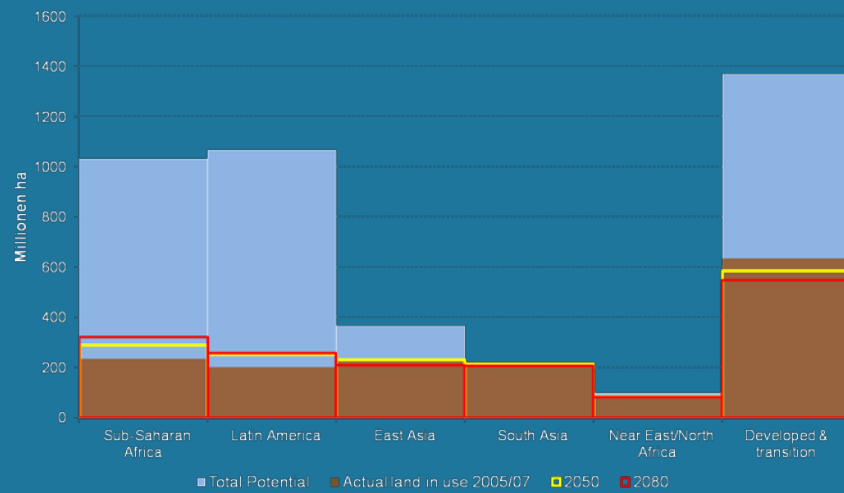
## Die Auswirkungen auf die Ernährung (vorläufige Schätzungen)

|         | Unterernährt |           | Prozent der Bevölkerung mit ... kcal/Tag |       | adipös |           |
|---------|--------------|-----------|------------------------------------------|-------|--------|-----------|
|         | %            | Millionen | >2700                                    | >3000 | %      | Millionen |
| 2011/13 | 12           | 842       | 57                                       | 28    | 9      | 570       |
| 2050    | 4            | 330       | 91                                       | 52    | 15     | 1400      |
| 2080    | 2            | 150       | 98                                       | 66    | 21     | 2000      |

Reichen die natürlichen  
Ressourcen?

## Gibt es genügend Ackerland?

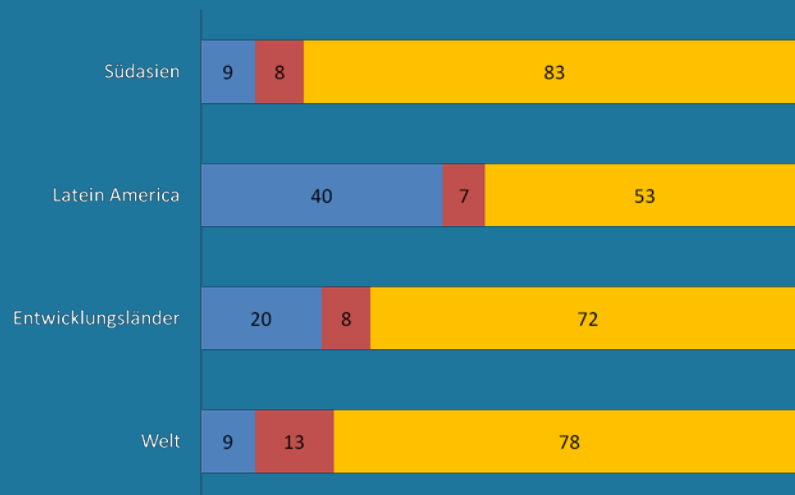
Landpotenziale und tatsächliche Nutzung von Ackerland  
2005/07, 2050 and 2080

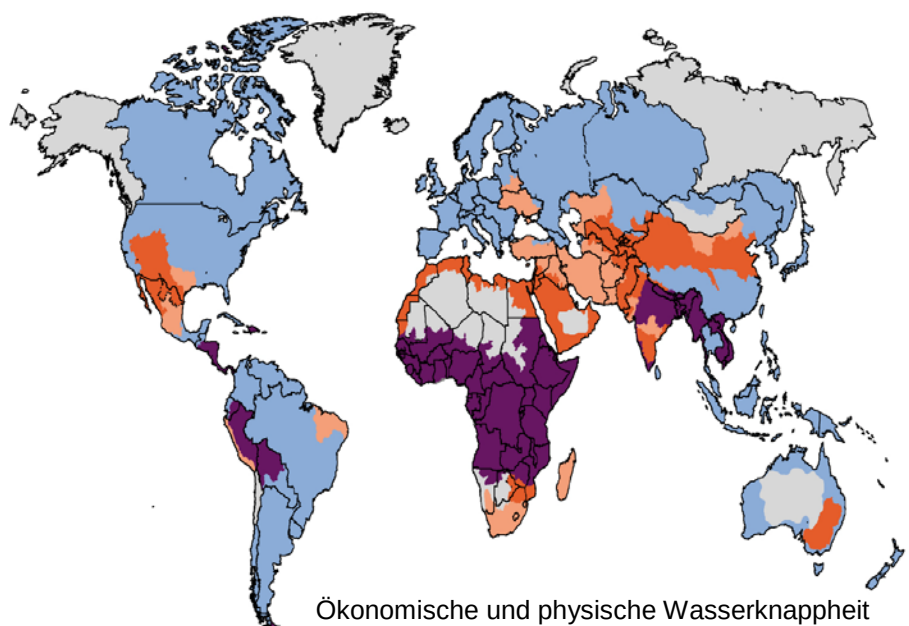
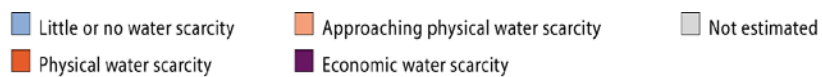
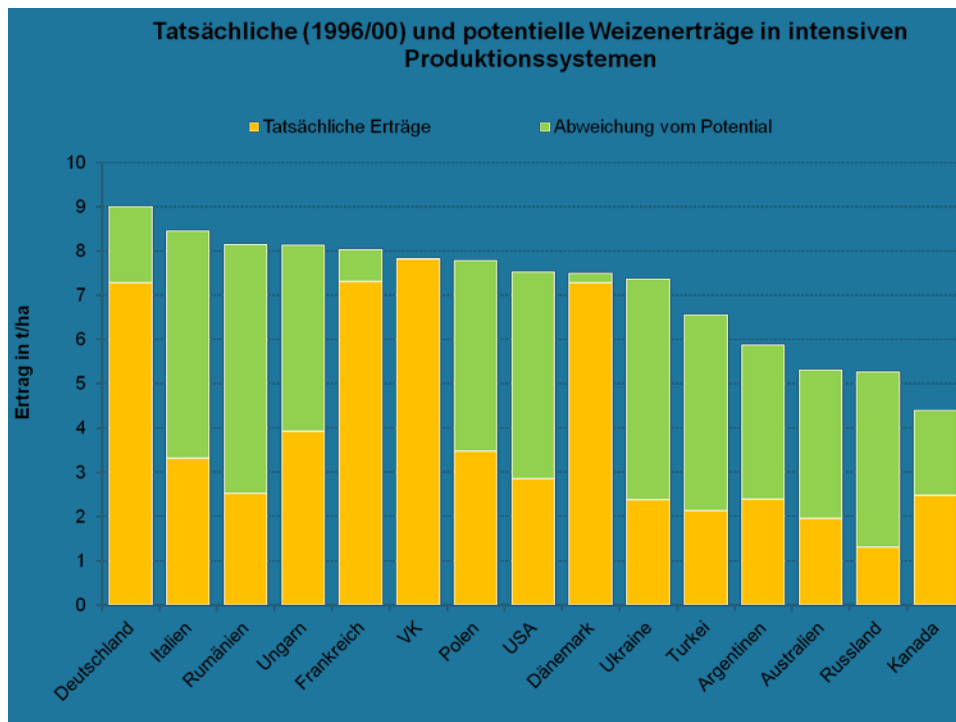


## Quellen des Wachstums:

Beiträge (%) zum Produktionszuwachs 2005/7-2050

■ Ackerfläche ■ Ernten pro Jahr ■ Erträge





Ökonomische und physische Wasserknappheit



# Wasserverbrauch und Bewässerung

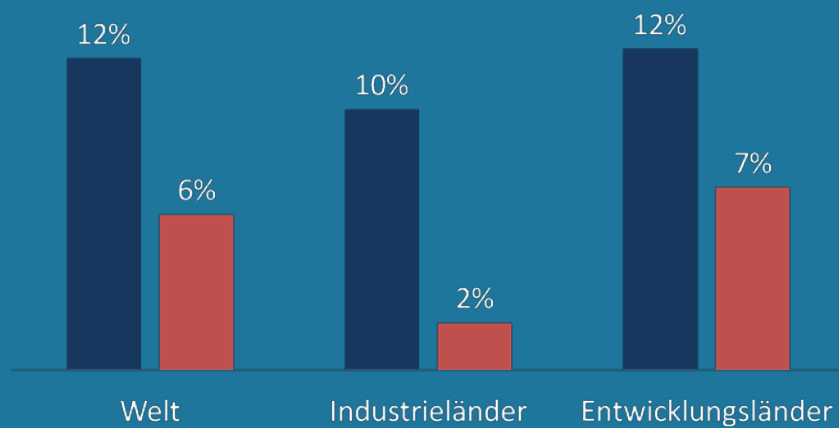
## Flächen mit installierten Bewässerungsanlagen

|                        | 1961/63      | 2005/07 | 2050 | 1961-07 | 2005-50 |
|------------------------|--------------|---------|------|---------|---------|
|                        | Millionen ha |         |      | % p.a.  |         |
| Welt                   | 142          | 302     | 322  | 1.8     | 0.1     |
| Industrieländer        | 38           | 68      | 69   | 1.5     | 0.0     |
| Entwicklungsländer     | 103          | 235     | 253  | 1.9     | 0.2     |
| ex. China und Indien   | 47           | 108     | 119  | 2.0     | 0.2     |
| sub-Sahara Afrika      | 3            | 6       | 7    | 1.9     | 0.5     |
| Latein Amerika         | 8            | 20      | 23   | 2.1     | 0.3     |
| Nahe Osten/Nord Afrika | 15           | 31      | 34   | 1.9     | 0.2     |
| Süd Asien              | 37           | 90      | 93   | 2.1     | 0.1     |
| Ost Asien              | 40           | 88      | 96   | 1.6     | 0.2     |

Quelle: WAT 2050/80

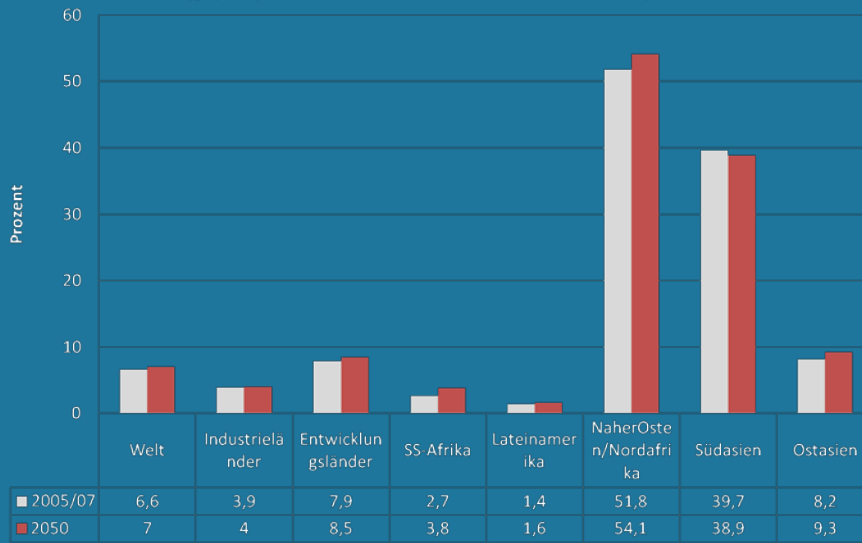
## "More crop for the drop"

■ Ernteflächen ■ Wasserentzug



## Wasserstress durch lw. Bewässerung

(gepumptes Wasser/erneuerbare Wasserressourcen)



## Die Auswirkungen des Klimawandels

#### Bio-physikalische Änderungen

- Höhere Temperaturen aber auch höhere Evaporation
- Mehr Niederschläge aber auch höhere Variabilität in den Niederschlägen
- Häufigere Extremwetterereignisse
- Überflutung von Küstengebieten
- Abschmelzen der Gletscher, Beeinträchtigung der Bewässerungspotenziale
- höhere CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre

#### Auswirkungen auf die Landwirtschaft

- Landwirtschaft in hohen Breiten: ↑Erträge bei <1.5°C, ↓Erträge >1.5°C GMT, bis zu 160 Millionen ha mehr Ackerland
- Landwirtschaft in niedrigen Breiten: ↓Erträge sogar bei ↑GMT von >1-2°C, bis zu 110 Millionen ha weniger Land
- CO<sub>2</sub> Düngereffekt bei niedrigen Temperaturen, aber unsicher bei starkem Temperaturanstieg
- Veränderung des Krankheits- und Schädlingsdrucks, Ug99, Malaria, e-coli, Tierkrankheiten, Hitze- und Wasserstress, Weidequalität

#### Prozentuale Veränderung der Weltmarktpreise für Nahrungsmittel (Getreide) in Abhängigkeit künftiger Temperaturänderungen

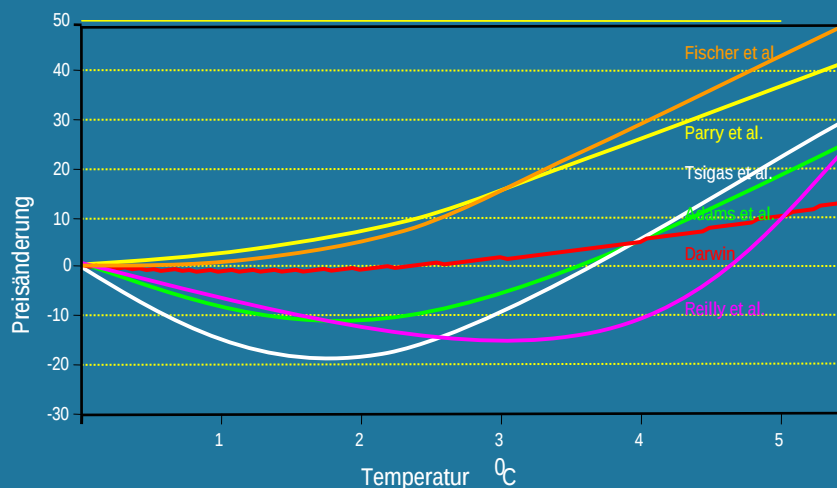


Table 1. The impacts of climate change and socio-economic development paths on the number of people at risk of hunger in developing countries

| Scenario               | No. of people at risk of hunger in developing countries, in millions |           |           |           |           |           |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | Year 2020                                                            |           | Year 2050 |           | Year 2080 |           |
|                        | AEZ-BLS                                                              | DSSAT-BLS | AEZ-BLS   | DSSAT-BLS | AEZ-BLS   | DSSAT-BLS |
| Reference              |                                                                      |           |           |           |           |           |
| A1                     | 663                                                                  | 663       | 208       | 208       | 108       | 108       |
| A2                     | 782                                                                  | 782       | 721       | 721       | 768       | 769       |
| B1                     | 749                                                                  | 749       | 239       | 240       | 91        | 90        |
| B2                     | 630                                                                  | 630       | 348       | 348       | 233       | 233       |
| CC                     |                                                                      |           |           |           |           |           |
| A1                     | 666                                                                  | 687       | 219       | 210       | 136       | 136       |
| A2                     | 777                                                                  | 805       | 730       | 722       | 885       | 742       |
| B1                     | 739                                                                  | 771       | 242       | 242       | 99        | 102       |
| B2                     | 640                                                                  | 660       | 336       | 358       | 244       | 221       |
| CC, no CO <sub>2</sub> |                                                                      |           |           |           |           |           |
| A1                     | NA                                                                   | 726       | NA        | 308       | NA        | 370       |
| A2                     | 794                                                                  | 845       | 788       | 933       | 950       | 1,320     |
| B1                     | NA                                                                   | 792       | NA        | 275       | NA        | 125       |
| B2                     | 652                                                                  | 685       | 356       | 415       | 257       | 384       |

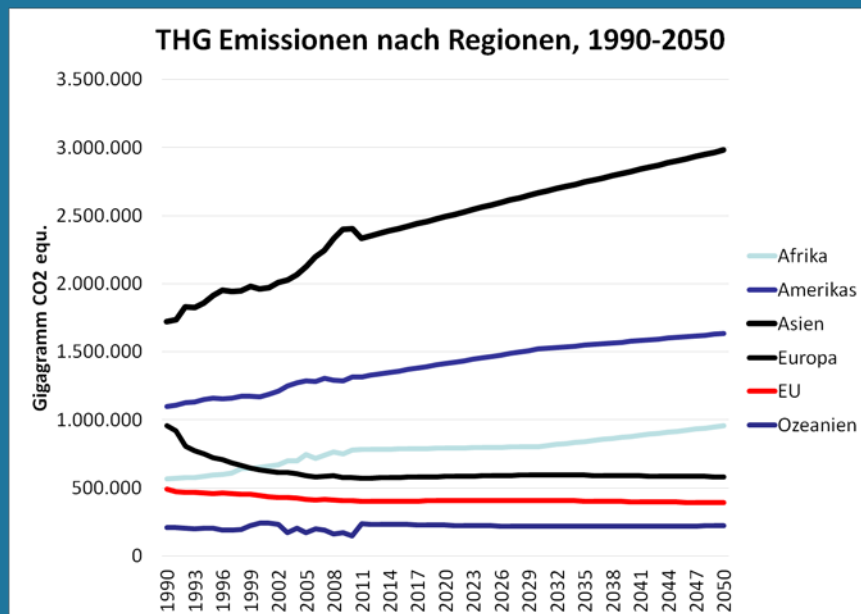
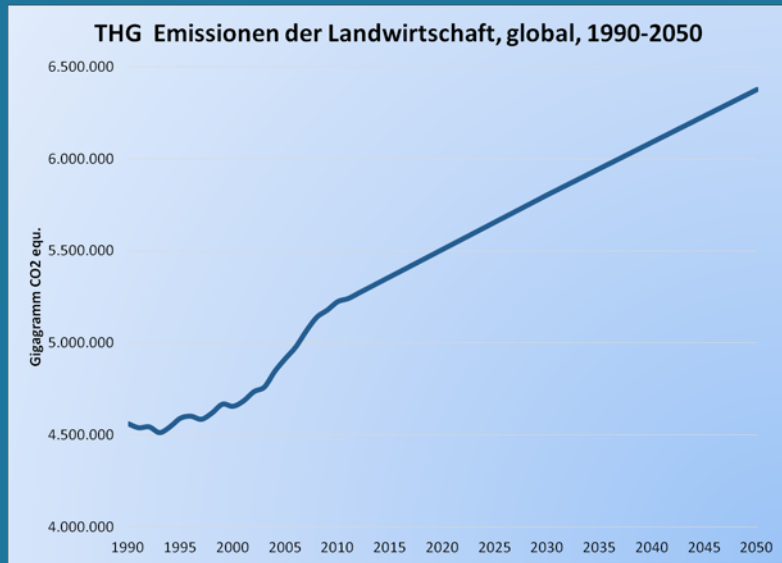
1. Improvements over time

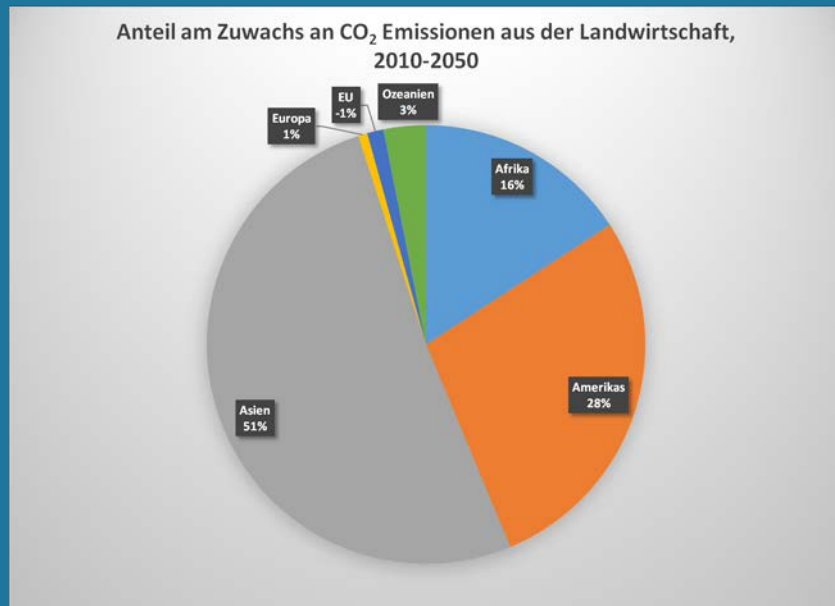
2. CC is bad for FS

3. SRES >> CC

4. CO<sub>2</sub> fertilization is important

## Der Beitrag der Landwirtschaft zu den THG Emissionen

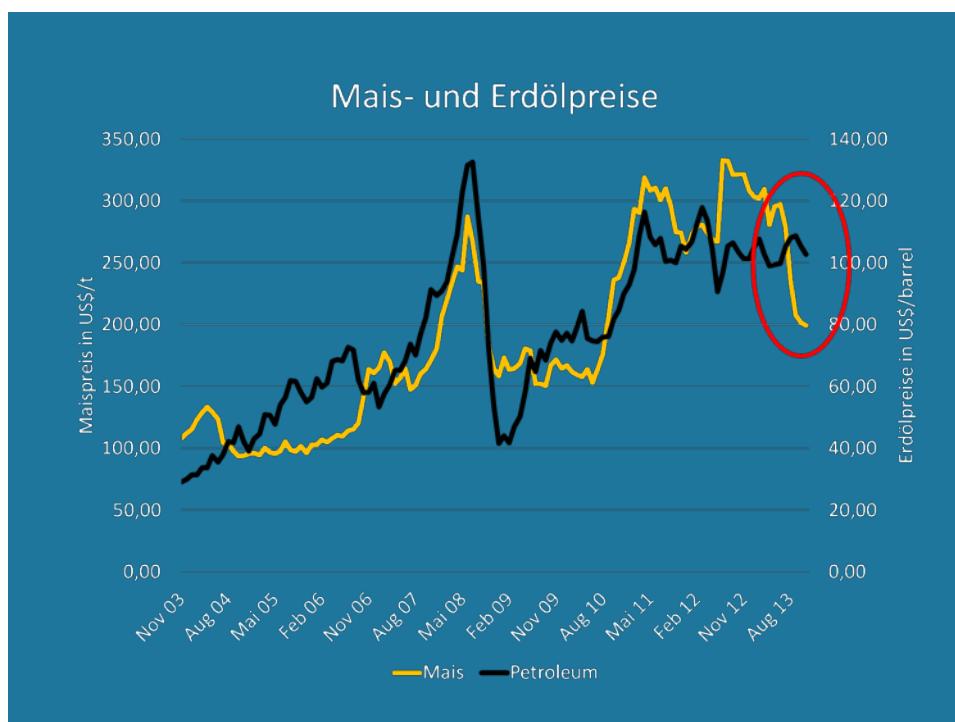




**Mögliche Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von Agrarrohstoffen für die Energiezwecke**

## Wie gross ist der Energiemarkt?

1. Energiemarkt (TPES): ca. 500 EJ
  2. Biomasse: ca. 50 EJ (80% in den EL)
  3. Biotreibstoffe: ca. 4 EJ, auf ca. 40 Mio. ha
  4. Transportenergiebedarf: ca. 95 EJ
  5. Ackerfläche um den Transportenergiebedarf zu decken: >1000 Mio. ha, i.e. 2/3 der globalen Ackerfläche.
- Langfristig: Der Energiemarkt ist ökonomisch "groß", erzeugt bis zum Paritätspreis vollkommen elastische Nachfrage nach Agrarprodukten.
  - Mittelfristig: Angebotskurve verläuft nur für geringe Mengen flach
  - Kurzfristig: technische Grenzen („blend wall“, 10% bei Ethanol, 7% bei Biodiesel)



Zusammenfassung und Fazit

„Don't panic,  
but be actively  
concerned!“

Danke



## **Können Gärreste aus der Biogasgewinnung ohne nachteilige Folgen für die Bodenfruchtbarkeit appliziert werden?**

Dörthe Holthausen, Amrei Voelkner, Rainer Horn

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

### **1. Entstehung und Eigenschaften von Gärresten**

Der Anteil von erneuerbaren Energiequellen an der Stromerzeugung hat sich in Schleswig-Holstein im Jahr 2012 auf 40,7 % erhöht. Dabei hat Biogas nach Windkraft den zweithöchsten Anteil mit 21 % an den erneuerbaren Energien (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2013). Trotz abnehmender Zahl der Neuanlagen steigt die Zahl der vorhandenen Anlagen weiterhin an und erreichte 2012 den Stand von 620 Anlagen mit einer installierten Leistung von 253 MW (Fachverband Biogas e.V., 2013). Diese Zahlen verdeutlichen, dass die Bedeutung von Biogas sich nicht verringert hat, auch wenn sich die Zahl der Anlagen langfristig nicht mehr so stark erhöhen wird wie in der vergangenen Dekade. Im Zusammenhang mit Biogas fallen auch immer flüssige Rückstände der anaeroben Vergärung an (Gärrest, GR), welche aufgrund der enthaltenen Nährstoffe im Sinne einer Rückführung als Dünger auf den Flächen der Substraterzeugung eingesetzt werden.

Unter Sauerstoffabschluss (= anaeroben Verhältnissen) finden bei der Biogasgewinnung vier verschiedene Prozesse i. d. R. parallel statt: Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanogenese (Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, 2013). Bezüglich des Endproduktes ist die Methanogenese prägend, sodass Gärreste einen basischen pH-Wert aufweisen und damit deutlich höhere Werte als z. B. Schweinegülle (Ni et al., 2012). Daneben zeichnen sich Gärreste auch durch eine besondere Zusammensetzung bezüglich der Nährstoffe aus. So wird ein Großteil der Kohlenstoffverbindungen abgebaut bzw. nur die schwerabbaubaren Verbindungen bleiben erhalten; dies führt jedoch dazu, dass die meisten anderen Nährstoffe in gelöster, mineralischer und damit pflanzenverfügbarer Form vorliegen. Besonders deutlich ist dies für Stickstoff (N), der im Gärrest zu einem großen Anteil als mineralischer N und dabei besonders als Ammonium ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) vorliegt.

## **2. Wechselwirkungen von Gärresten und Boden**

Bezüglich der Wechselwirkungen von Gärresten mit Boden sind sowohl Eigenschaften des Substrates als auch des Bodens von Bedeutung, besonders in Anbetracht der sehr großen Diversität beider Elemente. Je nach Ausgärungsgrad und möglicher Weiterverarbeitung und/oder Aufbereitung unterscheiden sich die Gärreste in Gehalt und Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe, pH, Trockenmassegehalt, biologischer Stabilität (d. h. Mineralisierungspotential). Ebenso bedeutsam ist der Bodentyp, auf den sie ausgebracht werden: Textur, Gehalt an organischem Kohlenstoff, pH, Speicherfähigkeit für Wasser und Nährstoffe, die biologische Aktivität und die vorhandene Bodenstruktur bedingen sowohl die Infiltration des Gärrests als auch die weiteren Prozesse (Abbau und Umbau der im GR enthaltenen Substanzen).

Welche negativen Aspekte von Gärresten auf die Bodenfruchtbarkeit sind denkbar und welche Prozesse stehen dahinter? Diese Aspekte werden im Folgenden genauer betrachtet.

### **2.1 Humuswirkung**

Die Humuswirkung von GR entspricht nicht derjenigen von unvergorener Gülle; da der Kohlenstoffgehalt aufgrund der Produktion von Methan und Kohlendioxid verringert ist und zum anderen sich die Qualität der Kohlenstoffverbindungen verändert. Die vergorene Biomasse enthält kaum noch leichtabbaubaren Kohlenstoff (Tambone et al., 2009) und ist somit für Mikroorganismen beim Aufbau von organischer Bodensubstanz eine Nahrungsgrundlage eher geringerer Qualität (Golchin et al., 1997). Die Abschätzung der Humuswirkung erfolgt jedoch häufig auf Basis des Gesamtanteils an organischem C und nicht aufgrund der Qualität. Für die Bodengare und Stabilität der Bodenstruktur sind die leicht abbaubaren Anteile der organischen Substanz aber viel bedeutsamer als komplexe Moleküle wie Lignin etc. (Abiven et al., 2009). Neben der fehlenden Rücklieferung von C bzw. in veränderter Qualität kann es zudem einen aktiven Verlust durch eine angeregte biologische Aktivität geben, das sogenannte Priming. Hierbei wird neben dem vom GR gelieferten C auch bodenbürtiges C abgebaut, so dass höhere C-Mineralisierungsraten als 100 % des mit dem GR zugeführten C auftreten können (Bernal und Kirchmann, 1992). Nicht bei allen betrachteten GR trat Priming auf (Alburquerque et al., 2010; Alburquerque et al., 2012), so dass fraglich ist, unter welchen Voraussetzungen es dazu kommt. Laut Riffaldi et al. (1996) ist dies ein enges C/N-Verhältnis im GR, v. a. wenn der hohe N-Gehalt durch Ammonium-N hervorgerufen wird. Ein für Schleswig-Holstein repräsentativerer GR aus Maissilage wurde von Zirkler (2012) untersucht. Hier wurden Priming-Effekte von fast 120 % gefunden, während andere GR (Klärschlamm, Fett und Maische bzw. Gülle

und Speisereste) dieses nicht zeigten (vgl. auch Kirchmann und Lundvall, 1993). Fraglich bleibt, ob nicht schon bei C-Mineralisierungsraten unterhalb von 100 % ein Abbau von bodenbürtigem C erfolgt, der allerdings mit quantitativen Methoden nicht erfasst wird. Der Verlust von organischer Substanz, speziell in aggregierender Qualität jedoch geht einher mit reduzierter Festigkeit der Bodenstruktur (Baldock, 2002), so dass Bodenfunktionen wie Infiltration, Luftleitfähigkeit und auch Nährstoffspeicherung langfristig degradiert werden (Haynes und Naidu, 1998).

## **2.2 Bodenreaktion bzw. N-Kreislauf**

Unterfrauner (2008) sowie Unterfrauner et al. (2010) berichteten von pH-Absenkung nach Ausbringung von GR, der nur durch gleichzeitige Gabe von Kalk- und Gipsprodukten entgegengewirkt werden konnte. Dies mag überraschen in Anbetracht des basischen pH des GR. Allerdings sind damit einhergehend hohe Ammoniumgehalte vorzufinden. Im Boden führt dann die mikrobielle Oxidation zu Nitrat ebenso zur Freisetzung von Protonen wie die Aufnahme von Ammonium in Pflanzen mit der Folge einer Versauerung im Boden. Eine Abpufferung erfolgt häufig durch Calcium, welches direkt und indirekt zur Partikelverbindung beiträgt. Ein geringerer pH kann zudem die Speicherung kationischer Nährstoffe reduzieren. Die pH-Absenkung verringert wie die hohe  $\text{NH}_4^+$ -Konzentration die bodenbiologische Aktivität (Nielsen et al., 2011).

Bei Vergleichen von anaerob, aerob und überhaupt nicht behandeltem Schweinemist zeigte sich bei Inkubationsversuchen über 70 Tage eine pH-Absenkung von ca. 7,5 auf 7,2 beim anaerob vergorenen Schweinemist (Bernal und Kirchmann, 1992).

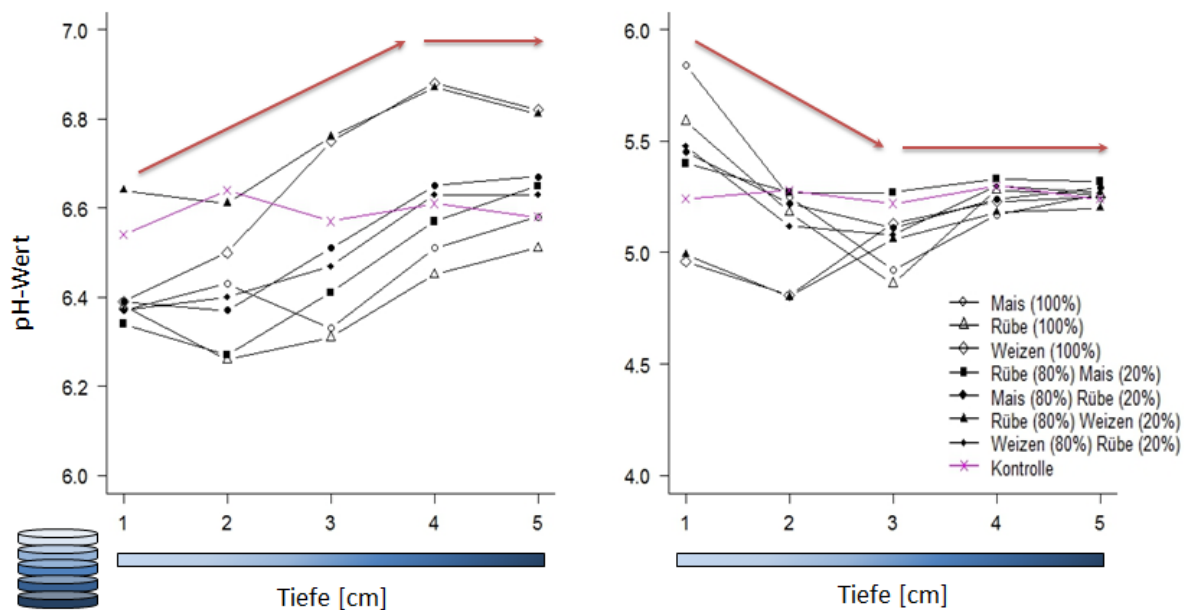


Abbildung 1: pH-Werte in Abhängigkeit von Zufuhr verschiedener Gärreste zu einem lehmigen Standort (Hohenschulen, links) bzw. einem sandigen (Karkendamm, rechts), Tiefe entspricht der Entfernung vom GR, weitere Erläuterungen siehe Text (n = 4)

Eigene Untersuchungen an Boden einer Parabraunerde (Versuchsgut Hohenschulen) bzw. eines Podsoles (Versuchsgut Karkendamm) zeigen einen deutlichen Effekt der Textur bzw. des Bodentyps (siehe Abb. 1). Bodenmaterial wurde nach Trocknung wiederverdichtet in Zylindern und bei Feldkapazität mit GR beaufschlagt. Proben wurden in verschiedenen Distanzen zur Oberfläche („Tiefe“) entnommen und analysiert. Während der lehmige Standort (Abb. 1, links) wie zuvor beschrieben bei Aufbringung der meisten der getesteten GR (Mono- und Kofermente) eine Versauerung erfährt, zeigt sich beim Sand tendenziell nur bei zwei Gärresten dieses Verhalten, während die meisten eine Erhöhung des pH-Wertes hervorrufen (Abb. 1, rechts). Ergänzend zeigten in einem Langzeitdüngerversuch auf einer Parabraunerde aus Lösslehm Ammonium-basierte Dünger einen stark versauernden Effekt und erhöhten den Anteil des durch Wasser dispergierbaren Tons, d. h. die Bodenstruktur wurde verschlechtert (Paradelo et al., 2013). Möglicherweise tritt dieses Verhalten im sandigen Substrat nicht auf, weil der Ausgangs-pH bereits tief ist und somit weniger Bakterien, sondern vorrangig Pilze das Bodenleben beeinflussen und somit Umbauprozesse nicht mit gleicher Intensität stattfinden.

### 2.3 Benetzungsverhalten des Bodens (Hydrophobie)

Ein weiterer im Boden nach GR-Ausbringung zu erwartender Effekt ist Hydrophobisierung (Verringerung der Benetzbarkeit). GR enthalten bedeutende Men-

gen an Fettsäuren (Kiely, 1997), welche zu den häufigsten Ursachen für Benetzungshemmungen in Böden gehören (Doerr et al., 2000). Hydrophobie kann den Erhalt einer bestehenden Struktur bedeuten, wenn sie den Zerfall von Aggregaten aufgrund veränderter oder verringerter Quellung trotz Wasserzufuhr unterbindet. Sie verringert aber andererseits die Wasserspeicherung im Boden sowie die Infiltration in den Boden und verstärkt präferenziellen, also ungleichmäßigen Fluss durch den Boden (Doerr et al., 2007). Insbesondere die über die GR eingebrachten leicht-löslichen Nährstoffe können dadurch kaum im Boden verteilt und dadurch sorbiert werden, sondern es ist zu vermuten, dass sie einer starken vertikalen Verlagerung, evtl. bis in das Grundwasser unterliegen. Außerdem kann besonders der zugeführte Stickstoff das Bodenleben aktivieren und dadurch die Hydrophobisierung sogar noch verstärken (Hallett und Young, 1999). Die eigenen Versuche zeigen deutlich die Wechselwirkungen zum Bodentyp bzw. zur Bodenart (Abb. 2). Der lehmige Standort zeigt keinen Unterschied zur Kontrolle, während auf dem sandigen Standort eine starke Erhöhung des Kontaktwinkels in direkter Nähe (Tiefe 1-3) des GR auftrat. Werte von über  $90^\circ$  definieren einen benetzungsgehemmten Boden. Ursächlich für die Unterschiede kann sein, dass die spezifische Oberfläche des lehmigen Materials weit- aus größer ist als die des sandigen und somit für eine verringerte Benetzbarkeit der Anteil des GR höher sein muss als die aufgebrachte Menge von entsprechend  $30 \text{ m}^3$  pro ha bzw. umgekehrt diese Menge bei dem sandigen Material bereits ausreicht, einen bereits benetzungsgehemmten Boden noch stärker zu hydrophobisieren.

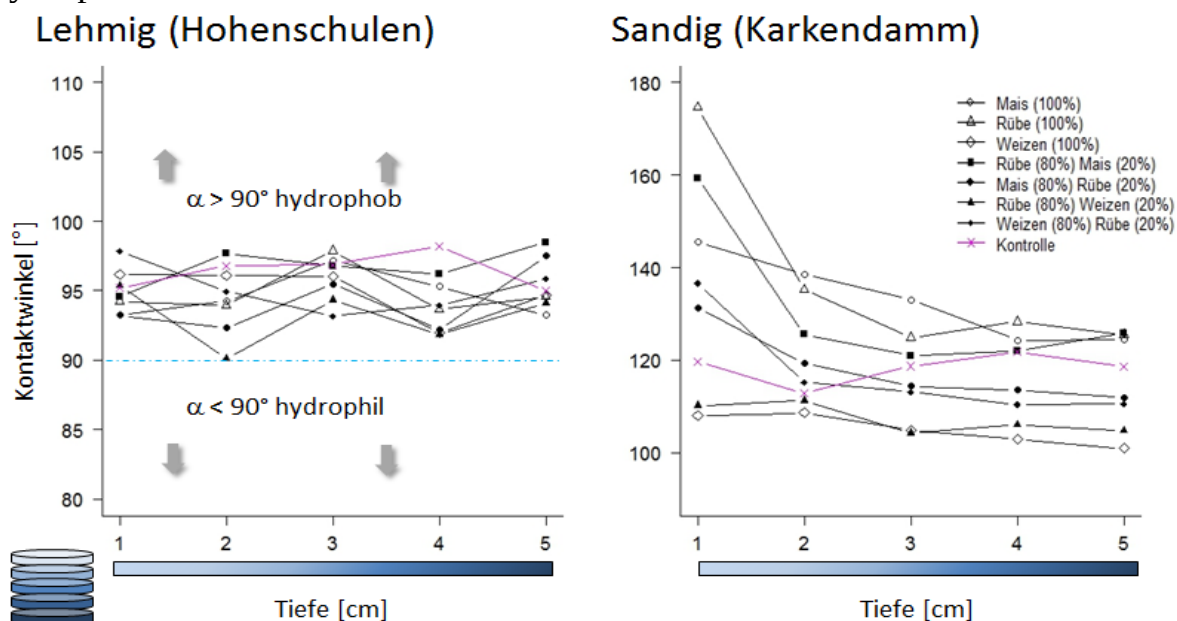


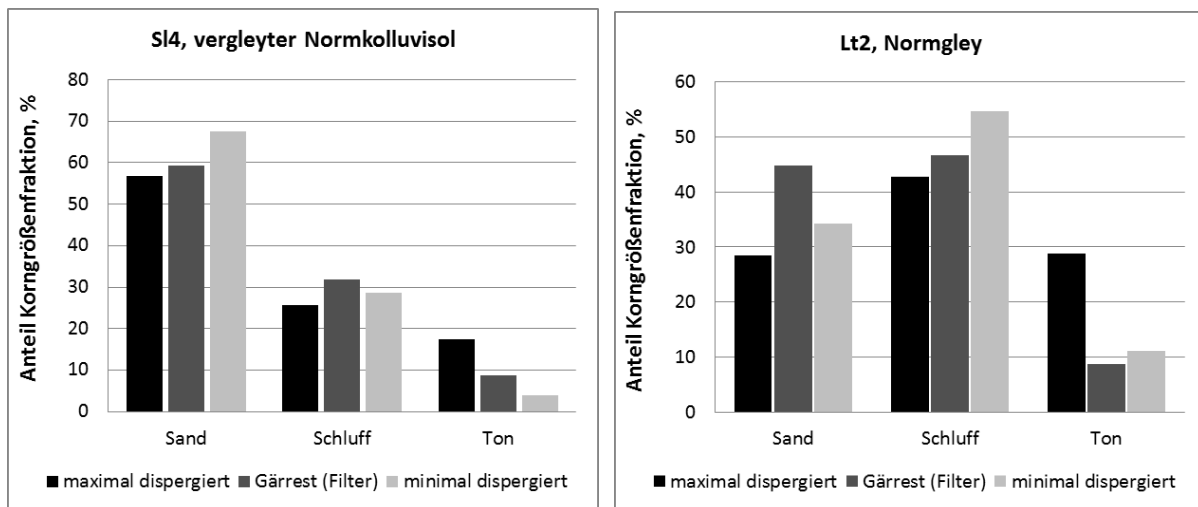
Abbildung 2: Kontaktwinkel in Abhängigkeit von Zufuhr verschiedener Gärreste zu einem lehmigen Standort (Hohenschulen, links) bzw. einem sandigen (Karkendamm, rechts), Tiefe entspricht der Entfernung vom GR, weitere Erläuterungen siehe Text (n = 6)

## 2.4 Dispersion durch Kationen?

Monovalente Nährkationen (Natrium und Kalium) könnten mehrwertige Kationen von Austauscheroberflächen verdrängen und dadurch Dispersion fördern (So und Aylmore, 1993; Unterfrauner, 2008; Paradelo et al., 2013).

Bezüglich GR existieren wenige Untersuchungen, welche die Rolle von Kalium und Natrium genauer betrachten, mehrere jedoch bezüglich Gülle. Einige fanden eine negative Wirkung auf die Bodenstruktur (Auerswald et al., 1996), andere eine positive (Yagüe et al., 2012) und andere wiederum eine stark vom Boden abhängige Wirkung (positiv in sandigen Böden, negativ in tonigen Böden) (Mbagwu et al., 1991). K als mineralischen Dünger hatte sowohl strukturverschlechternde (Mazurak, 1953; Chen et al., 1983; Zalba et al., 1995) als auch strukturverbessernde Wirkung (Holthusen et al., 2010).

Institutseigene Untersuchungen von Korngrößenanalysen mit vollständiger Dispergierung nach Blume et al. (2011) bzw. nach nur 2-stündigem Schütteln zeigen das Dispergierungspotential eines Bodens: Bei vollständiger Dispergierung zeigen die Primärpartikel höhere Anteile der Tonfraktion, ggf. auch der Schlufffraktion, während der (mikro-)aggregierte Boden höhere Anteile der Sand- und ggf. Schlufffraktion aufweist (Pseudosande und –schluffe). Der Vergleich mit Bodenmaterial, welches mit GR (nur gelöste Anteile) inkubiert wurde, zeigt dann entweder eine Dispergierung oder Aggregation durch Verschiebung der Fraktionsanteile (siehe Abb. 3) (Dams, unveröffentlicht). Die hier exemplarisch vorgestellten zwei Bodentypen zeigten sehr unterschiedliche Wirkungen. So wurde im lehmigen Sand ein Teil der Mikroaggregate in Partikel von Schluff- bzw. Tonpartikelgröße durch den GR dispergiert (Abb. 3, links). Bei einem tonigen Lehm hingegen hatte der GR eine aggregierende Wirkung, denn die Fraktion der Tonpartikel wurde gegenüber der minimal dispersiven Anwendung sogar noch verringert, während die Sandfraktion deutlich zunahm (Abb. 3, rechts). Möglicherweise sind hier Tongehalt und Tonmineralogie von Bedeutung (spezifische K-Bindung), die Ergebnisse zeigen aber zusammen mit der vorgestellten Literatur den Forschungsbedarf, z. B. in einer Hinzunahme der Ertragsdaten sowie bodenphysikalischer Informationen zur Bestätigung bzw. Ablehnung der gemachten Beobachtungen.



**Abbildung 3: Dispergierungs- bzw. Aggregierungspotential von Gärresten (nur löslicher Anteil, durch Filter vom Boden getrennt gehalten) in Relation zum Standardverfahren (maximal dispergiert) bzw. Korngrößenanalyse ohne Entfernung von Kittsubstanzen (minimal dispergiert), links für einen stark lehmigen Sand (SI4), rechts für einen schwach tonigen Lehm (Lt2) (Dams, unveröffentlicht)**

### 3. Schlussfolgerungen

Gärreste (GR) können die Bodenstruktur verändern,

- indem sie den Kohlenstoffgehalt bzw. die Kohlenstoffqualität im Boden beeinflussen,
- indem sie die Bodenreaktion in saurere pH-Bereiche verschieben
- indem sie den Boden weniger benetzbar machen und
- indem sie hohe Kalium- und Na-Gehalte zuführen, welche dispergierend wirken können.

Da GR eine sehr hohe Bandbreite von Eigenschaften aufweisen und sich weitere Varianzen durch die angebaute Kultur bzw. den Boden ergeben, ist die Analyse von jeweils für eine Region typischen GR und Böden besonders von Bedeutung. Solange diese nicht vorliegen, können jedoch Ableitungen auf Basis von verallgemeinerbaren Eigenschaften gemacht werden, z. B. der Abbaubarkeit des Kohlenstoffs in GR und Boden (z. B. anhand des C/N-Verhältnisses). Auf diese Weise kann der Effekt hinsichtlich der Bodenstruktur und folglich auch der Wasserspeicherung, Durchlüftung und Durchwurzelung sowie der Nährstoffspeicherung abgeschätzt werden und die Anwendung von GR in Art und Menge sowie Boden entsprechend angepasst werden.

## Referenzen

- Abiven, S., Menasseri, S., Chenu, C., 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis. *Soil Biol. Biochem.* 41, 1-12.
- Alburquerque, J.A., de la Fuente, C., Bernal, M.P., 2012. Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils. *Agriculture Ecosystems & Environment* 160, 15-22.
- Alburquerque, J.A., de la Fuente, C., Carrasco, L., Cegarra, J., Bernal, M.P., 2010. Carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with digestates from anaerobic co-digestion processes, In: Marques dos Santos Cordovil, C.S.C., Ferreira, L. (Hrsg.), 14th Ramiran International Conference, of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture: "Treatment and use of organic residues in agriculture: challenges and opportunities towards sustainable management", 12 - 15 September 2010, Lisboa, Portugal.
- Auerswald, K., Kainz, M., Angermüller, S., Steindl, H., 1996. Influence of exchangeable potassium on soil erodibility. *Soil Use and Management* 12, 117-121.
- Baldock, J.A., 2002. Interactions of organic materials and microorganisms with minerals in the stabilization of soil structure, In: Huang, P.M., Bollag, J.-M., Senesi, N. (Hrsg.), Interactions between soil particles and microorganisms. John Wiley & Sons, West Sussex, pp. 85-131.
- Bernal, M.P., Kirchmann, H., 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biol. Fertil. Soils* 13, 135-141.
- Blume, H.P., Stahr, K., Leinweber, P., 2011. *Bodenkundliches Praktikum: Eine Einführung in pedologische Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler*, 3. neubearbeitete Auflage. Spektrum, Heidelberg.
- Chen, Y., Banin, A., Borochoy, A., 1983. Effect of potassium on soil structure in relation to hydraulic conductivity. *Geoderma* 30, 135-147.
- Dams, A., unveröffentlicht. Einfluss von Gärrestaubsbringung auf die Dispergierungsneigung von Böden der Jungmoränenlandschaft Schleswig-Holsteins. Masterarbeit, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde. Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Doerr, S.H., Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Scott, D.F., Carter, D., 2007. Water repellence of soils: new insights and emerging research needs. *Hydrol Process* 21, 2223-2228.
- Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, e.V.F.H., „, 2013. Biogas, 9. überarbeitete Auflage. FNR, Gülzow.
- Fachverband Biogas e.V., 2013. Branchenzahlen - Prognose 2013/2014: Entwicklung des jährlichen Zubaus von neuen Biogasanlagen in Deutschland (Stand: 11/2013).
- Golchin, A., Baldock, J.A., Oades, J.M., 1997. A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics, In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Hrsg.), Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton, pp. 245-266.
- Hallett, P.D., Young, I.M., 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *Eur. J. Soil Sci.* 50, 35-40.
- Haynes, R.J., Naidu, R., 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 51, 123-137.



- Holthusen, D., Peth, S., Horn, R., 2010. Impact of potassium concentration and matric potential on soil stability derived from rheological parameters. *Soil Till. Res.* 111, 75-85.
- Kirchmann, H., Lundvall, A., 1993. Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biol. Fertil. Soils* 15, 161-164.
- Mazurak, A.P., 1953. Aggregation of colloidal clay from Hesperia sandy loam as affected by univalent and calcium ions. *Soil Science* 76, 181-191.
- Mbagwu, J.S.C., Piccolo, A., Spallacci, P., 1991. Effects of field applications of organic wastes from different sources on chemical, rheological and structural properties of some Italian surface soils. *Bioresource Technology* 37, 71-78.
- Ni, K., Pacholski, A., Gericke, D., Kage, H., 2012. Analysis of ammonia losses after field application of biogas slurries by an empirical model. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175, 253-264.
- Paradelo, R., van Oort, F., Chenu, C., 2013. Water-dispersible clay in bare fallow soils after 80 years of continuous fertilizer addition. *Geoderma* 200–201, 40-44.
- Riffaldi, R., Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., 1996. Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties. *Biol. Fertil. Soils* 22, 293-298.
- So, H.B., Aylmore, L.A.G., 1993. How do sodic soils behave - the effects of sodicity on soil physical behavior. *Australian Journal of Soil Research* 31, 761-777.
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2013. Stromerzeugung in Schleswig-Holstein 2012: Deutlich mehr Strom aus erneuerbaren Energien. *Statistik informiert...* 199.
- Tambone, F., Genevini, P., D'Imporzano, G., Adani, F., 2009. Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresource Technology* 100, 3140-3142.
- Unterfrauner, H., 2008. Auswirkung von Biogasgülle auf Bodenparameter unter besonderer Berücksichtigung des Kaliums (K)/Effect of digested residues on soil parameters with special consideration of the potassium (K), In: *Arbeitsgemeinschaft\_für\_Lebensmittel-, V.-u.A. (Hrsg.), 63. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), "Ernähren uns in der Zukunft Energiepflanzen?"*, 26.-27. Mai 2008. RepaCopy, Wien, Raumberg-Gumpenstein.
- Yagüe, M.R., Bosch-Serra, À.D., Antúnez, M., Boixadera, J., 2012. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: Macroaggregate stability and organic matter fractions. *Science of The Total Environment* 438, 218-224.
- Zalba, P., Martinez, R.S., Peinemann, N., 1995. Comparative effects of sodium and potassium salts on the physicochemical conditions of soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26, 2629-2637.
- Zirkler, D., 2012. Gärreste aus der Biogasproduktion: Chemische Zusammensetzung und Nährstoffverfügbarkeit, In: *Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), 7. Marktreidwitzer Bodenschutztag: Erneuerbare Energie und Bodenschutz. Informations- und Diskussionsforum für Wissenschaftler und Anwender mit Tätigkeiten im Bodenschutz*, 10. bis 12. Oktober 2012, Marktreidwitz, Bayern, Marktreidwitz.

# **Umwelteffekte von Biogasproduktionssystemen in den verschiedenen Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins**

Antje Herrmann<sup>1</sup>, Sandra Claus<sup>1</sup>, Klaus Sieling<sup>2</sup>, Henning Kage<sup>2</sup> und  
Friedhelm Taube<sup>1</sup>

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
<sup>1</sup>Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau  
<sup>2</sup>Acker- und Pflanzenbau

## **1. Einleitung und Problemstellung**

In den letzten Jahren hat die Biogasproduktion in Norddeutschland eine starke Ausdehnung erfahren: aktuell sind knapp 800 Anlagen mit einer Leistung von 330 kW<sub>el</sub> am Netz. Begleitet wurde diese Entwicklung von einer Expansion des Silomaisanbaus, die aber mittlerweile mit einer Fläche von ca. 180 Tsd. ha zum Stillstand gekommen ist. Auf der Geest ist parallel ein deutliches Wachstum der Milchproduktion und/oder Rindermast zu beobachten. Nutzungskonkurrenzen zwischen dem Anbau von Futterpflanzen zur Bioenergieerzeugung bzw. der Futtermittelproduktion können folglich nicht ausgeschlossen werden. Dies betrifft vor allem Flächen, die für den Anbau von Mais geeignet sind, während der Einsatz von Grünlandaufwüchsen in der Biogaserzeugung bislang einen deutlich geringeren Stellenwert einnimmt. Weitere künftige Herausforderungen für die Biogasproduktion betreffen die in der Diskussion befindliche Ausweitung der Erneuerbare Energien-Direktive auf Biogas mit einem Minderungsziel von 60% sowie die Novelle der Düngeverordnung, die eine Berücksichtigung von Gärresten in der N-Bilanz und eine Einschränkung der Ausbringungszeiträume vorsieht. Letzteres würde für vieh- und anlagenstarke Landkreise (Nordfriesland, Schleswig-Flensburg) die Notwendigkeit von Gärrest- bzw. Gülle-Exporten bedeuten (Taube et al. 2013). Ein effizienterer Einsatz von Gärresten ist also unabdinglich.

Ziel dieses Beitrages ist es, (i) die Potenziale der Biogasproduktion aus Grünland und Mais bzw. Maisfruchtfolgen für unterschiedliche Naturräume Schleswig-Holsteins aufzuzeigen, (ii) die aus dem Anbau resultierenden Umwelteffekte darzustellen und (iii) Schlussfolgerungen für eine nachhaltige Biogasproduktion zu ziehen.

## 2. Ertragspotenziale Substratproduktion

Im Rahmen des Verbundprojekts Biogas-Expert wurden an der agrarwissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel unterschiedliche Anbausysteme für die Biogasproduktion geprüft. An drei für die Naturräume Schleswig-Holsteins typischen Standorten (Hohenschulen (HS) im Hügelland, Karkendamm (KD) in der Geest und Blumenkoog in der Marsch) wurden mehrjährige Feldversuche etabliert. Auf dem sandig-lehmigen Standort Hohenschulen wurde Mais in Selbstfolge (FF1), eine Fruchtfolge aus Mais, Weizen zur GPS-Nutzung und Welschem Weidelgras als zweischnittige Winterzwischenfrucht (FF2) sowie eine Fruchtfolge aus Mais, Körnerweizen und Senf als Winterzwischenfrucht (FF3) geprüft. Auf dem leicht humosen Sandstandort Karkendamm wurde Mais in Selbstfolge (FF1) mit einem Ackergras (Dt. Weidelgras, 4 Schnitte, FF4) verglichen. Auf dem Marschstandort wurden die Anbausysteme FF1, FF2 sowie FF4 analysiert. Darüber hinaus wurde die Wirkung unterschiedlicher Stickstoffdüngerformen (mineralisch (KAS), Biogasgärrückstände (Mix) und in HS Schweinegülle (SG) bzw. in KD Rindergülle (RG)) in vier Düngestufen (N1-N4) getestet. Untersucht wurden die Ertragsleistungen der Anbausysteme, der spezifische Methanertrag der jeweiligen Substrate sowie düngungsbezogene Lachgas- und Ammoniakemissionen und die N-Konzentration im Sickerwasser.

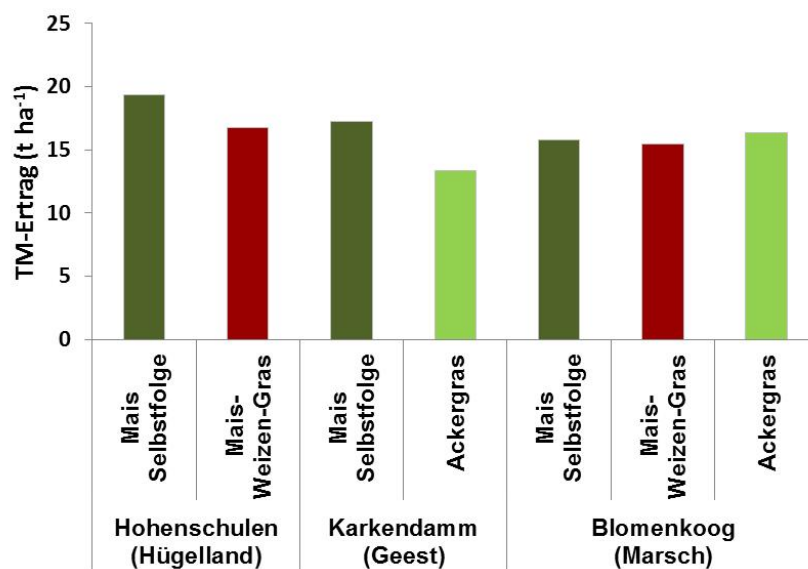


Abb. 1. Ertragspotenziale der geprüften Substratanbausysteme bei nicht-limitierender mineralischer N-Versorgung.

Im Hügelland konnte bei nicht-limitierender N-Versorgung über Mineraldünger Mais in Selbstfolge etwas höhere Erträge erzielen als die Mais-Weizen-Gras Fruchtfolge (Abb. 1). Eine Ertragsüberlegenheit der Fruchtfolge, wie ursprüng-

lich angenommen, konnte nicht bestätigt werden, u.a. durch versuchsbedingt geringe Weizenenerträge im ersten Versuchsjahr. Am Geeststandort KD lag die Ertragsleistung des Deutschen Weidelgrases, u.a. aufgrund von Wasserlimitierung, deutlich unter der von Mais. In der Marsch erzielte Ackergras leicht höhere Jahreserträge. Das Ertragspotenzial der Mais-Weizen-Gras-Fruchtfolge konnte nicht ausgeschöpft werden, da in einem Versuchsjahr witterungsbedingt nach dem Mais kein Winterweizen etabliert werden konnte und im nächsten Frühjahr Sommerweizen ausgesät werden musste, was auf ein höheres Ertragsrisiko der Fruchtfolge hinweist. Ein hohes Ertragsrisiko wurde auch für den Mais in Selbstfolge dokumentiert, da im Vorversuchsjahr 2008 ein kompletter Ertragsausfall zu verzeichnen war, bedingt durch eine starke Frühjahrstrockenheit, welche das Auflaufen des Maises stark einschränkte.

### 3. N-Bedarf und N-Düngewirkung von Gärresten

Von allen geprüften Anbausystemen zeichnete sich Mais in Selbstfolge durch den geringsten N-Bedarf zur Erzielung des Maximalertrages (= N-Optimum) aus. So benötigten das Grünland und Anbausystem FF2 bei mineralischer Düngung (KAS) mit 300 bzw. 267 kg N ha<sup>-1</sup> eine mehr als doppelt so hohe Stickstoffmenge im Vergleich zu FF1 (135 kg N ha<sup>-1</sup> in KD, 124 kg N ha<sup>-1</sup> in HS), was auf eine höhere N-Nutzungseffizienz von Mais zurückzuführen ist.

Was den relativen N-Düngewert\* der organischen N-Dünger betrifft, zeigte sich sowohl in der Maismonokultur an beiden Standorten als auch im Grünland eine Überlegenheit der Gärrestapplikation (HS-FF1: 0.98, KD-FF1: 0.75, KD-FF4: 0.65) im Vergleich zur Düngung mit Rinder- oder Schweinegülle (HS-FF1: 0.75, KD-FF1: 0.57, KD-FF4: 0.62), während in FF2 Schweinegülle einen höheren N-Düngewert (0.98 vs. 0.87) aufwies (Herrmann et al. 2013, Sieling et al. 2013). Die höhere Düngewirkung des Gärrestes in FF1 bzw. FF4 erscheint überraschend angesichts des geringeren Ammonium-N-Anteils des Gärrestes, wird aber vermutlich bedingt durch das geringere C/N-Verhältnis (reduzierte N-Festlegung). Der geringere N-Düngewert des Gärrestes in der Energiefruchtfolge FF2 ist zurückzuführen auf eine unterschiedliche Dynamik der N-Aufnahme von Mais und Weizen. Während der hohe N-Bedarf von Weizen im Frühjahr/Frühsummer über den hohen Ammoniumgehalt der Schweinegülle abgedeckt wird, kann Mais den aus der Mineralisation freigesetzten Stickstoff effizienter nutzen.

\* relativer N-Düngerwert =  $NUE_{\text{organisch}} / NUE_{\text{mineralisch}}$ , und  $NUE = (N\text{-Aufnahme der Variante} - N\text{-Aufnahme der Kontrolle}) / (\text{Gesamt-N-Düngungsmenge})$ ; der N-Düngerwert wurde nach Abzug der NH<sub>3</sub>-Emission berechnet

Bei einer N-Versorgung alleinig über Gärrest kann jedoch das Ertragspotenzial von leistungsfähigen Grünlandbeständen nicht voll ausgeschöpft werden, d.h. ein weitgehend geschlossener Nährstoffkreislauf ist nicht möglich. So wurden in der Marsch bei N-Aufwandmengen von 360-480 kg N ha<sup>-1</sup> Ertragsdifferenzen von bis zu 38% zwischen mineralischer N-Düngung und Gärrestapplikation festgestellt.

#### 4. Gasförmige N-Verluste und N-Auswaschung

Gärreste stellen wertvolle Nährstoffquellen dar, welche nachhaltig eingesetzt werden sollten, um auf Basis fossiler Brennstoffe erzeugte mineralische Düngemittel zu ersetzen. Herausforderungen in diesem Zusammenhang ergeben sich in Regionen mit hohen Anlagendichten aus den zur Verfügung stehenden Gärrestmengen (Taube et al. 2013). Zum anderen können spezifische Gärresteigenschaften Konfliktpotenzial zu bestehenden Umweltschutzzielen bergen. Dies betrifft im Besonderen (i) die Wasserrahmenrichtlinie, (ii) die NEC (National Emission Ceilings)-Direktive, welche den EU-Mitgliedsstaaten Obergrenzen für die Emission von Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickoxiden und volatilen organischen Verbindungen setzt, sowie (iii) die ambitionierten Ziele auf nationaler und EU-Ebene hinsichtlich der Treibhausgasvermeidung. Gasförmige N-Emissionen sowie die N-Auswaschung nach Gärrestapplikation stellen die mengenmäßig bedeutendsten Verlustquellen. Weitere Emissionen entstehen am Fermenter und während der Gärrestlagerung (Liebetrau et al. 2011).

Ein Vergleich der untersuchten *Kulturarten und Anbausysteme* zeigt, dass Mais aufgrund seiner im Vergleich zu Gras und Weizen geringeren Blattfläche sowie durch die Möglichkeit einer sofortigen Einarbeitung der ausgebrachten Dünger die geringsten NH<sub>3</sub>-Emissionen aufwies (Gericke 2009). Da eine Einarbeitung im Grünland und im Weizen aufgrund der Ausbringung mittels Schleppschlauch nicht möglich war, lagen die NH<sub>3</sub>-Emissionen unweigerlich höher als im Mais. Die Emission von Ammoniak nach Gärrestausbringung kann durch eine angepasste Applikationstechnik jedoch stark eingeschränkt werden, wie ein weiter führender Versuch am Standort Blumenkoog belegt. So wurde nach Gärrestinjektion im Grünland eine im Vergleich zur Schleppschlauchapplikation verminderte Ammoniakemission festgestellt. Ein Anstieg der Lachgasemission, wie von Wulf et al. (2002) berichtet, konnte nicht bestätigt werden. Die NO<sub>3</sub>-Auswaschung am Standort Hohenschulen wies bei optimaler N-Düngung für alle drei untersuchten Anbausysteme ein ähnliches Niveau auf. Bei Überdüngung hingegen stiegen die potenziellen Auswaschungsverluste in der Maiselbstfolge im Vergleich zu den Fruchtfolgen (FF2 und FF3) stärker an. Am Standort Karkendamm führte der Maisanbau unabhängig vom Düngungsniveau immer zu deutlich höheren Nitratfrachten als die Substratproduktion vom Grün-

land ( $< 5 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Die flächenbezogene Lachgasemission war unter Mais im Vergleich zu Grünland oder Weizen erhöht, was vermutlich mit höheren  $N_{\min}$ -Werten und höheren Bodenwassergehalten unter Mais insbesondere im späten Frühjahr zu begründen ist (Senbayram 2009). Diese Relationen ändern sich jedoch bei Bezug der Emissionen auf die Produkteinheit  $\text{kg TM}$ .

Abgesehen von Kulturart/Anbausystem hatte auch die *Düngerart* einen signifikanten Effekt auf die untersuchten Umwelteffekte. Die aus der anaeroben Vergärung resultierenden Veränderungen der Gärresteigenschaften (pH-Wert,  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil) führten zu Veränderungen hinsichtlich des Ammoniakemissionspotenzials. Sowohl im Feldversuch als auch in Modellrechnungen zeichnete sich der Biogasgärrest durch höchste Ammoniakverluste aus, was auf den höheren pH-Wert des Gärrestes zurückzuführen ist (Gericke 2009). Bezüglich der  $\text{NO}_3\text{-}$ Auswaschung konnten unter Mais, wie zu erwarten, starke Düngemittleffekte, mit deutlich höheren Verlusten bei KAS-Düngung im Vergleich zu den organischen Düngern festgestellt werden. Unter Grünland hingegen hatte die Düngerform aufgrund der sehr geringen N-Frachten keinen Einfluss auf die Höhe der Verluste. Generell wiesen Gärreste kein höheres Auswaschungsrisiko auf als Gülle tierischer Herkunft (Svoboda 2011). Auch bezüglich der kumulierten Lachgasemissionen konnte kein Düngemiteleinfluss abgesichert werden. Allerdings ist von einem höheren Emissionspotenzial der organischen Düngemittel im Vergleich zu KAS gerade in Kombination mit hohen Bodenwassergehalten auszugehen, da flüssige Dünger tiefer in den Boden infiltrieren und dort eher Denitrifikationsprozessen ausgesetzt sind (Senbayram 2009).

*Standorteffekte* bezüglich der  $\text{NH}_3$ -Emission waren hauptsächlich auf unterschiedliche Windgeschwindigkeiten zurückzuführen und resultierten in höchsten Emissionen auf dem Marschstandort. Unterschiedliche Bodentexturen führten unter Mais zu großen Standorteffekten bezüglich der Nitrat-N-Austräge, welche bei N-Übersorgung auf bis zu  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  (HS) bzw.  $250 \text{ kg N ha}^{-1}$  (KD) anstiegen. Auch die  $\text{N}_2\text{O}$ -Verluste unterschieden sich deutlich im Standortvergleich und waren auf dem sandig-lehmigen Standort HS unter Mais bis zu dreifach höher als auf dem Sandstandort KD. Dies ist zurückzuführen auf die höheren Bodenwassergehalte, welche den wichtigsten Prozess bei der Entstehung von  $\text{N}_2\text{O}$ , die Denitrifikation, begünstigen (Senbayram 2009).

## 5. Treibhausgasbilanz

Die erfassten Daten zur Ertragsleistung, N-Auswaschung und Emission klimarelevanter Gase dienten weiterhin zur Abschätzung des Treibhausgas(THG)-Einsparpotenzials der untersuchten Anbausysteme. Hierbei wurden direkte und indirekte THG-Emissionen resultierend aus der Substratproduktion im Feld, dem Transport und der Lagerung sowie durch Konversionsverluste, Humusge-

haltsänderung im Boden (Annahmen nach VDLUFA) und Methanschluß an der Biogasanlage berücksichtigt und mit der Freisetzung von THG bei der Erzeugung derselben Energiemenge über fossile Energieträger verglichen. Die Mais-selbstfolge erzielte im Hügelland und in der Geest bei optimaler N-Versorgung das höchste CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial (Tab. 1). Die höheren Methanhektarerträge der Maisselbstfolge konnten die negative Humusbilanz sowie die höheren flächenbezogenen N<sub>2</sub>O-Emissionen überkompensieren. Eine positive Humusbilanz des Ackergrases (+ 600 kg Humus-C ha<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup>) ist ursächlich für ein THG-Einsparpotenzial, welches auf gleichem Niveau liegt wie Anbausystem FF2, obwohl das Ackergras deutlich geringere Methanhektarerträge realisierte. Organische N-Düngemittel zeichneten sich für Mais in Selbstfolge an beiden Standorten und für die Mais-Weizen-Gras Fruchtfolge am Standort HS durch ein höheres THG-Einsparpotenzial im Vergleich zur mineralischen N-Düngung aus, was auf einen geringeren Energieaufwand und damit verbundene CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Düngerproduktion zurückzuführen ist. Bei der Nutzung von Ackergras zur Biogaserzeugung war ein umgekehrter Effekt zu beobachten. Die Applikation organischer Dünger führte zu einer geringeren CO<sub>2</sub>-Einsparung als eine Mineraldüngung, begründet in der deutlich geringeren N-Düngewirkung und Biomassebildung. Alle dokumentierten CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale der Anbausysteme übersteigen, mit Ausnahme von FF2 unter Mineraldüngung, das aktuell von den Biomassekraftstoff- bzw. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnungen geforderte Minderungspotenzial von 35%. Das 50%-Minderungsziel wird meist nur bei Gärrestdüngung erreicht. Eine THG-Minderung von 60%, kann unter den gegebenen Bedingungen von Ackergras mit Gärrestdüngung erzielt werden; bei weiterer Optimierung dürfte dieser Wert in allen Landschaftsräumen erreichbar sein.

Tabelle 1. THG-Minderungspotenzial (GMP, t CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) der geprüften Substratanbausysteme bei optimaler N-Versorgung (Claus et al. 2013).

|                         |           | Mineraldüngung        |                                       | Gärrest               |                                       |
|-------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
|                         |           | N-Opt.                | GMP                                   | N-Opt.                | GMP                                   |
| Anbausystem             | Standort  | kg N ha <sup>-1</sup> | t CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> | kg N ha <sup>-1</sup> | t CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> |
| <b>Mais-Mais</b>        | <b>HS</b> | 148                   | 11,1                                  | 132                   | 13,3                                  |
| <b>Mais-Weizen-Gras</b> | <b>HS</b> | 231                   | 7,0                                   | 268                   | 8,6                                   |
| <b>Mais-Mais</b>        | <b>KD</b> | 142                   | 11,1                                  | 246                   | 11,3                                  |
| <b>Ackergras</b>        | <b>KD</b> | 290                   | 9,3                                   | 336                   | 6,7                                   |
| <b>Mais-Mais</b>        | <b>BK</b> | 150                   | 10,5                                  | 152                   | 11,3                                  |
| <b>Mais-Weizen-Gras</b> | <b>BK</b> | 230                   | 9,5                                   | 245                   | 8,5                                   |
| <b>Ackergras</b>        | <b>BK</b> | 360                   | 10,6                                  | 360                   | 8,5                                   |

## 6. Fazit

Die Ausführungen belegen, dass eine ökoeffiziente Produktion von Biogas mit Substratanbau auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit erheblichen CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzialen möglich ist. Dies setzt eine optimierte „gute fachliche Praxis“ des Anbaus ebenso voraus wie eine hohe technische Effizienz der Anlagen gekoppelt mit überzeugenden Kraft-Wärme-Konzepten. Die Berechnungen zeigen weiterhin, dass eine CO<sub>2</sub>-Vermeidung entsprechend der Renewable Energy Directive (RED) (minus 60% Emissionen im Vergleich zu fossilen Energieträgern) für optimierte Substratanbausysteme erreichbar ist. Die Berücksichtigung von indirekten Landnutzungseffekten (ILUC) erscheint angesichts der unsicheren Datengrundlage, aber insbesondere aufgrund der Tatsache, dass mehr als 72% der LN in der EU zur Futtermittelerzeugung genutzt werden, als nicht zielführend.

## Literatur:

- Claus, S., Taube, F., Wienforth, B., Svoboda, N., Sieling, K., Kage, H., Senbayram, M., Dittert, K., Gericke, D., Pacholski, A., Herrmann, A. (2013): Life cycle assessment of biogas production under the environmental conditions of northern Germany: Greenhouse gas balance. *Journal of Agricultural Science*, doi: 10.1017/S0021859613000683.
- Gericke, D. (2009): Measurement and modelling of ammonia emissions after field application of biogas slurries. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Herrmann, A., Sieling, K., Wienforth, B., Taube, F., Kage, H. (2013): Short-term effects of biogas residue application on yield performance and N balance parameters of maize in dif-



- ferent cropping systems. *Journal of Agricultural Science* 151, 449–462.
- Liebetrau, J., Daniel-Gromke, J., Reuschel, C., Oehmichen, K., Clemens, J., Hafermann, C., WEILAND, P., Friehe, J. (2011): Bewertung klimarelevanter Gase aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf der Basis von Emissionsmessungen. In: KTBL (Ed.) *Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven*. KTBL-Schrift 488, 185-195.
- Senbayram, M. (2009): Greenhouse gas emission from soils of bioenergy crop production systems and regulating factors - The Biogas Expert Project. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Sieling, K., Herrmann, A., Wienforth, B., Taube, F., Ohl, S., Hartung, E., Kage, H. (2013): Biogas cropping systems: short term response of yield performance and N use efficiency to biogas residue application. *European Journal of Agronomy* 47, 44-54.
- Svoboda, N. (2011): Auswirkung der Gärrestapplikation auf das Stickstoff-Auswaschungspotential von Anbausystemen zur Substratproduktion. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Taube, F., Schütte, J., Kluß, C. (2013): Auswirkungen der Berücksichtigung von Gärresten auf den Anfall organischer Dünger in einer novellierten Düngeverordnung – dargestellt am Beispiel Schleswig-Holstein. *Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 219*, doi.org/10.12767/buel.v0i219.29.
- Wulf, S., Maeting, M., Clemens, J. (2002): Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: II. Greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Quality* 31, 1795-1801.

## **Beeinflusst die Fütterungsintensität von tragenden Färsen oder neugeborenen Kälbern langfristig die Gesundheit und Produktivität von Rindern?**

Steffi Wiedemann<sup>1</sup>, Hans-Jürgen Kunz<sup>2</sup>, Heinrich H.D. Meyer<sup>3</sup>, Sonja Spiegler<sup>3</sup>,  
Ursula Köhler<sup>3</sup> und Martin Kaske<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institut für Tierzucht und Tierhaltung

<sup>2</sup>Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, LVZ Futterkamp

<sup>3</sup>Physiologie Weihenstephan, TU München

<sup>4</sup>Klinik für Wiederkäuer, Vetsuisse-Fakultät Zürich

Von epidemiologischen Analysen aus der Humanmedizin und experimentellen Untersuchungen mit Nagetieren, Schweinen und Schafen ist bekannt, dass die langfristige Regulation der Nährstoffverteilung im Organismus von Nachkommen bereits während früher Phasen der Entwicklung (späte Gravidität bzw. erste Lebenswochen) durch kurze nutritive Stimuli beeinflusst werden kann („metabolische Programmierung“). Insbesondere der Grad der Diskrepanz zwischen der prä- und postnatalen Nährstoffversorgungslage gilt als wichtige Determinante für die nachfolgende Disposition für eine Veränderung des Stoffwechsels [1]. So ist z. B. beim erwachsenen Menschen das Risiko einer Insulinresistenz drastisch erhöht, wenn dieser bei der Geburt untergewichtig war und als Erwachsener adipös ist [2,3]. Beim Rind wäre eine mögliche metabolische Programmierung ausgesprochen relevant, da bei keiner anderen Haustierspezies der Insulinstatus für die Stoffwechselstabilität so wichtig ist wie bei der Milchkuh. In den ersten Laktationswochen begünstigen u.a. niedrige Insulinkonzentrationen im Blut die Milchbildung durch eine Erhöhung der Neusyntheserate von Glucose in der Leber und die Verstärkung der Mobilisierung von Körperfett [4,5]. Dieses Phänomen beruht vor allem auf einer verminderten Insulin-Response peripherer Gewebe und ist damit vergleichbar mit der Konstellation beim Typ II-Diabetes beim Menschen (Altersdiabetes) [6]. Eine adäquate Insulinsensitivität ist in den ersten Laktationswochen jedoch notwendig, um eine ausreichende Glucoseaufnahme extramammärer Gewebe zu gewährleisten und eine exzessive Lipomobilisation mit nachfolgenden Stoffwechselentgleisungen zu verhindern [7]. Es liegen darüber hinaus Hinweise vor, dass auch das Futterraufnahmeverhalten durch das Ernährungsniveau in der Neonatalperiode lebenslang beeinflusst oder sogar determiniert wird [8]. So nahmen Ratten und Mäuse mit niedriger Energieaufnahme in der Neonatalperiode zwischen der 4.

und 62. Lebenswoche trotz freier Verfügbarkeit einer schmackhaften Ration hoch signifikant weniger Futter auf und wuchsen langsamer als Vergleichstiere, die in den ersten vier Lebenswochen eine hohe Energieaufnahme hatten [9,10]. Studien zum Ernährungsniveau von neugeborenen Kälbern zeigen, dass eine intensivere Fütterung in den ersten Lebenswochen kurzfristig die Kondition der Tiere bzw. mittel- bis langfristig die Produktivität im Sinne einer später höheren Laktationsleistung verbessert (Tab. 1).

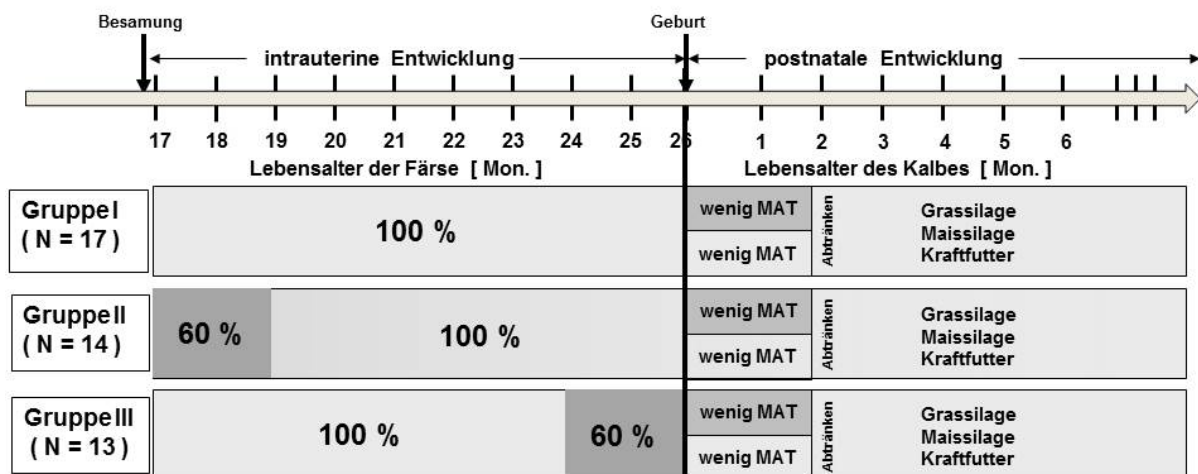
**Tabelle 1:** Effekte einer intensiven Fütterung während der Tränkeperiode auf die spätere Produktivität von Milchkühen

| Rasse               | Gruppen/<br>Tiere ges.  | Alter                  | Fütterung                                                  |                                                             | Milchleistung<br>int./restr.*                                             | Ref. |
|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------|
|                     |                         |                        | restriktiv                                                 | intensiv                                                    |                                                                           |      |
| Dän. SB             | 2 / 20                  | d 1-4<br>d 5-42        | Kolostrum<br>4,6 L Milch                                   | Kolostrum<br>Saugen am<br>Muttertier 2 x<br>tägl. je 30 min | + 775 kg<br>(p = 0,15)                                                    | [11] |
| Dän. SB             | 7 / 140                 | d 1-4<br>d 5-42        | Kolostrum<br>4,6 L Milch                                   | Kolostrum<br>Milch ad libi-<br>tum                          | + 572 kg<br>(p < 0,10)                                                    | [12] |
| Israel.<br>Holstein | 2 / 40                  | Wo 1-6                 | insg. 28 kg<br>MAT                                         | 3 x täglich<br>Saugen am<br>Muttertier                      | + 453 kg (p =<br>0,08)                                                    | [13] |
| HF                  | 2 / 80                  | d 1<br>d 2–42          | Kolostrum<br>MAT (21,5%<br>Rp, 21,5%<br>Rfe)<br>1,2% d. LM | Kolostrum<br>MAT (30,6%<br>Rp, 16,1%<br>Rfe)<br>2,1% d. LM  | d 1-60 (n. s.)                                                            | [14] |
| HF                  | 4 / 52                  | d 1-7<br>d 8-<br>35/42 | Kolostrum<br>MAT (22%<br>Rp, 20% Rfe)<br>1,3% d. LM        | Kolostrum<br>MAT (28%<br>Rp, 20% Rfe)<br>1,3% d. LM         | + 921 kg<br>(p < 0,01)                                                    | [15] |
| Israel.<br>Holstein | 2 / 46                  | d 1-3<br>d 4-50        | Kolostrum<br>MAT ad libi-<br>tum                           | Kolostrum<br>Vollmilch ad<br>libitum                        | + 945 kg<br>(p<0.001)                                                     | [16] |
| HF                  | 2 Betr. /<br>1244 / 624 | Wo 1<br><br>Wo 2-7     | Kolostrum / MAT 1,25% d.<br>LM<br>MAT (17–21 MJ ME pro Tag |                                                             | je zusätzlich<br>aufgen. MJ ME<br>über Erhal-<br>tungs-bedarf:<br>+ 56 kg | [17] |

HF = Holstein Friesian SB = Schwarzbunte LM = Lebendmasse \* 1. Laktation

In einem zweifaktoriellen Design wurde ein eigener Versuch zur Charakterisierung des Einflusses der Faktoren (a) Fütterungsniveau des Muttertieres während der Gravidität und (b) postnatales Fütterungsniveau auf die Glucosehomöostase und den Insulinstatus von Kälbern durchgeführt.

Die Untersuchungen erfolgten an 44 Färsen und deren weiblichen Kälbern der Rasse Red Holstein auf der Versuchsstation Hirschau der Technischen Universität München. Nach der Besamung mit gesextem Sperma eines Bullen wurden die trächtigen Tiere randomisiert drei Fütterungsgruppen zugeordnet (Abb. 1).



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau

Die Färsen der Gruppe I (Kontrolle; N = 17) wurden während der gesamten Gravidität mit einer Teilmischung aus Mais- und Grassilage gefüttert, die den Erhaltungsbedarf deckte (Energiegehalt 10,2 MJ ME/kg TS; Tab. 2). Die Färsen der Gruppe II (frühe Restriktion; N = 14) erhielten ab der Besamung für 8 Wochen eine Ration, die 40% weniger Energie enthielt als die Ration der Tiere in Gruppe I (Kontrolle). Dazu wurde die Energiedichte der Ration der Kontrolltiere durch Zumischen von Stroh reduziert. Während der weiteren Gravidität entsprach das Fütterungsniveau dem der Kontrolltiere. Die Färsen der Gruppe III (späte Restriktion; N = 13) wurden während der ersten Monate der Gravidität bedarfsgerecht entsprechend Gruppe I (Kontrolle) gefüttert; während der letzten acht Wochen der Gravidität bis unmittelbar zur Kalbung wurde der Energiegehalt der Ration um 40% durch Zumischen von Stroh vermindert.

Die Haltung aller Färsen erfolgte in Buchten auf Spaltenboden. Das Futter wurde zweimal täglich für jedes Einzeltier vorgelegt und die aufgenommene Futtermenge bestimmt. Monatlich wurden Blutproben entnommen. Nach der Geburt des Kalbes in einem Abkalbestall wurde die Nachgeburt gewogen und weitergehend untersucht (Gewicht; Anzahl und Größe der Kotyledonen). Das Kalb innerhalb von 20 min in einen mit Stroh eingestreuten Kälberstall überführt und

gewogen. Jedes Kalb erhielt innerhalb der ersten zwölf Lebensstunden zweimal jeweils 2 Liter Erstgemelk des Muttertieres.

**Tabelle 2:** Energie- und Rohproteinaufnahme sowie durchschnittliche tägliche Zunahme während der Trächtigkeit der Färsen (LSMeans  $\pm$  SEM)<sup>1</sup>

|                                 | Fütterungsgruppe |                 |                 | p-Wert  |                      |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|----------------------|
|                                 | Gruppe I         | Gruppe II       | Gruppe III      | Gruppe  | Gewicht bei Besamung |
| <b>Energieaufnahme</b>          |                  |                 |                 |         |                      |
| Periode 1 (MJ ME/d)             | 80,2 $\pm$ 2,0   | 48,5 $\pm$ 2,1* | 83,0 $\pm$ 2,2  | <0,0001 | 0,005                |
| Periode 2 (MJ ME/d)             | 86,1 $\pm$ 1,5   | 85,9 $\pm$ 1,5  | 86,6 $\pm$ 1,5  | 0,93    | 0,04                 |
| Periode 3 (MJ ME/d)             | 126,2 $\pm$ 2,9  | 123,5 $\pm$ 3,0 | 69,6 $\pm$ 3,1* | <0,0001 | 0,76                 |
| <b>Rohproteinaufnahme</b>       |                  |                 |                 |         |                      |
| Periode 1 (g/d)                 | 1.142 $\pm$ 35   | 682 $\pm$ 36*   | 1.183 $\pm$ 37  | <0,0001 | 0,22                 |
| Periode 2 (g/d)                 | 1.230 $\pm$ 23   | 1.233 $\pm$ 23  | 1.224 $\pm$ 24  | 0,94    | 0,44                 |
| Periode 3 (g/d)                 | 1.489 $\pm$ 38   | 1.438 $\pm$ 39  | 809 $\pm$ 40*   | <0,0001 | 0,47                 |
| <b>Tägliche Gewichtszunahme</b> |                  |                 |                 |         |                      |
| Periode 1 (g/d)                 | 610 $\pm$ 60     | 141 $\pm$ 62*   | 608 $\pm$ 97    |         |                      |
| Periode 2 (g/d)                 | 751 $\pm$ 45     | 904 $\pm$ 46*   | 752 $\pm$ 67    | <0,0001 | 0,84                 |
| Periode 3 (g/d)                 | 669 $\pm$ 94     | 677 $\pm$ 91    | -153 $\pm$ 50*  |         |                      |
| Gesamtgewichtszunahme (g/d)     | 697 $\pm$ 30     | 709 $\pm$ 31    | 582 $\pm$ 32*   | 0,01    | 0,84                 |

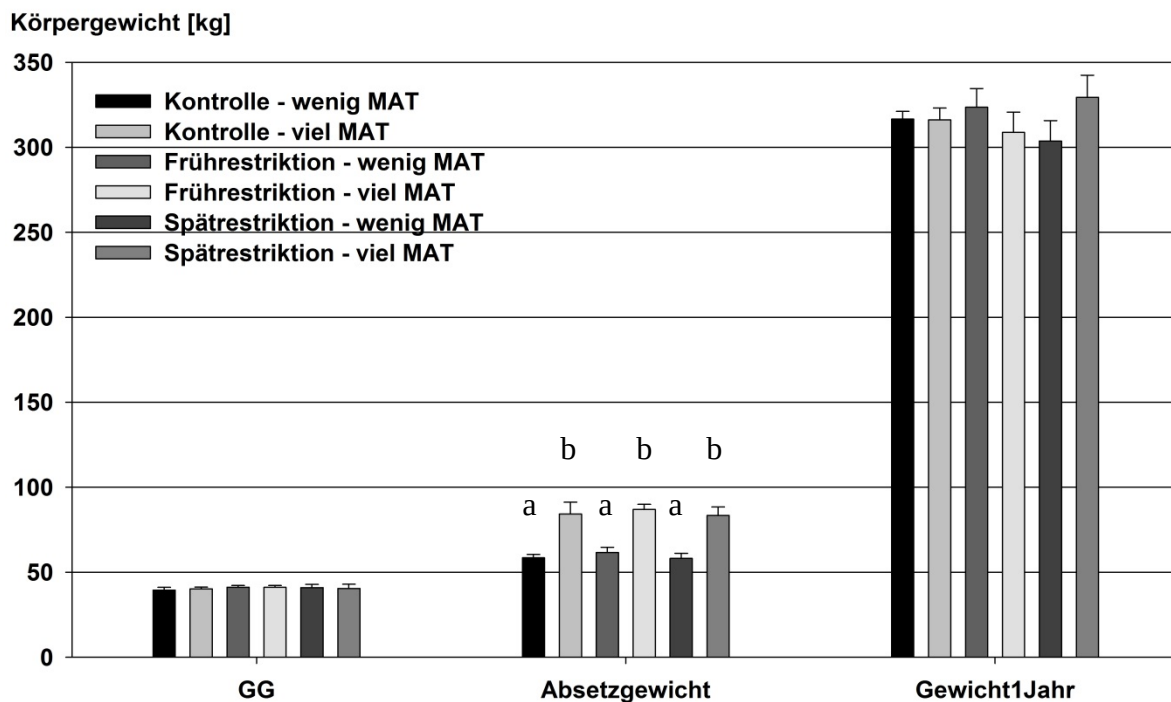
<sup>1</sup> Periode 1: 1. – 2. Monat der Trächtigkeit; Periode 2: 3. – 7. Monat der Trächtigkeit;  
Periode 3: 8. – 9. Monat der Trächtigkeit

\* signifikanter Unterschied der Gruppe zu den beiden anderen Gruppen während dieser Periode

Die Kälber jeder Färsengruppe wurden am zweiten Lebenstag randomisiert der Gruppe „viel MAT“ bzw. der Gruppe „wenig MAT“ zugeteilt und getrennt auf Stroh aufgestallt (Abb. 1). Beide Fütterungsgruppen erhielten ab dem zweiten Lebenstag ausschließlich Milchaustauschertränke (MAT) gefüttert. Die Tiere der Gruppe „wenig MAT“ erhielten 10 g MAT/kg KG (angemischt mit 120 g/L), die Kälber der Gruppe „viel MAT“ erhalten 20 g MAT/kg KG (angemischt mit 160 g/L) verteilt auf drei Fütterungszeiten. Wasser stand *ad libitum* zur Verfügung. Die Kälber wurden wöchentlich einmal gewogen, um die MAT-Mengen an das aktuelle Körpergewicht anzupassen. Die Kälber erhielten während der ersten acht Lebenswochen ausschließlich MAT; anschließend erfolgt das Abtränken mit sukzessiv abnehmenden Tränkemengen innerhalb von 1-2 Wochen. In der Folgezeit wurden alle Kälber einheitlich mit Grassilage, Maissilage und Kraftfutter gefüttert. Während der Tränkeperiode wurden in wöchentlichen Abständen und danach in monatlichen Abständen bis zu einem Alter von einem Jahr Blutproben entnommen. Die Quantifizierung der Insulinresistenz *in vivo* erforderte zwei unterschiedliche experimentelle Ansätze, die während der Tränkeperiode in der 7. Lebenswoche und im Alter von 6 Monaten durchgeführt wurden. Der pankreatische Insulin-Response wurde durch definierte Er-

höhung der Konzentration der Glucose im Blut bestimmt (hyperglycämische Clamp-Technik). Die Wirkung des Insulins auf die Insulin-abhängigen peripheren Gewebe wird als periphere Insulin-Response (hyperinsulinämischer, euglycämischer Clamp-Technik) ermittelt.

Im Ergebnis zeigte sich, dass eine restriktive Fütterung der Färsen in den ersten bzw. letzten 8 Wochen der Trächtigkeit keinen Einfluss auf das Geburtsgewicht der Kälber hatte (Abb. 2). Dies wurde durch die sich nicht unterscheidenden gemessenen Kenngrößen an der Nachgeburt bestätigt. Ebenso unterschieden sich die Blutparameter während der Trächtigkeit zwischen den Gruppen überraschenderweise nur marginal. Nur die nicht-veresterten Fettsäuren im Blut der Gruppe III stiegen während der Spätrträchtigkeit als Ausdruck einer verstärkten Lipomobilisation an. Es zeigte sich in den Phasen der Restriktionen jedoch ein stark vermindertes Wachstum der Färsen im Vergleich zu der Kontrollgruppe (Tab. 2). Dies bestätigt die in der Literatur beschriebene primäre Rolle der Versorgung des Nachkommens auf Kosten des Muttertieres und die damit verbundene Umlenkung der Nährstoffe von peripheren Geweben in die Plazenta [4].



**Abbildung 2:** Gewichte der Tiere der Versuchsgruppen zum Zeitpunkt der Geburt, beim Absetzen von der Milch (10 Wochen) und mit einem Jahr

Im weiteren Verlauf des Versuches zeigte sich ein deutlicher Effekt der angebotenen Energie und Nährstoffe auf die Gewichtsentwicklung der Kälber während der Tränkeperiode (Abb. 2). Die tägliche Gewichtszunahme der Tiere in den intensiv getränkten Gruppen war doppelt so hoch wie die der Tiere in den rest-

riktiv getränkten Gruppen. Die Gewichtszunahme wurde jedoch nicht durch das Fütterungsniveau der Muttertiere beeinflusst. Nach einem Jahr waren Effekte der mütterlichen und postnatalen Ernährung auf die Gewichtsentwicklung nicht mehr nachweisbar. In diesem Zusammenhang deuten weitere eigene Versuche darauf hin, dass das weitere Wachstum der Kälber nach der Tränkeperiode nicht nur durch das Ernährungsniveau in den ersten Lebenswochen sondern auch durch das spätere Auftreten von Erkrankungen (z.B. Lungenerkrankungen) beeinflusst wird.

Die Konzentrationen von Glucose im Serum und von Insulin im Plasma waren während der Tränkeperiode signifikant höher in den intensiv gefütterten Tieren im Vergleich zu den restriktiv getränkten Kälbern (Tab. 3). Nach dem Abtränken konnte kein Effekt der mütterlichen und der postnatalen Versorgung nachgewiesen werden.

**Tabelle 3:** Einfluss des Ernährungsniveaus der Mutter und des Kalbes auf die Konzentrationen von Glucose und Insulin im Blut

| Ernährungs-<br>niveau Mut-<br>ter | Ernährungs-<br>niveau Kalb | Glucosekonzentration<br>im Serum [ mmol/L ] |               | Insulinkonzentration im<br>Plasma [ $\mu$ U/mL ] |            |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------|------------|
|                                   |                            | Alter in Wochen                             |               | Alter in Wochen                                  |            |
|                                   |                            | 1-8                                         | 25-52         | 1-8                                              | 25-52      |
| Kontrolle                         | Wenig MAT (N=8)            | 5,2 $\pm$ 0,2                               | 4,6 $\pm$ 0,2 | 17 $\pm$ 4                                       | 8 $\pm$ 1  |
|                                   | Viel MAT (N=7)             | 6,4 $\pm$ 0,2                               | 4,6 $\pm$ 0,1 | 40 $\pm$ 6                                       | 8 $\pm$ 1  |
| Frührestriktion                   | Wenig MAT (N=7)            | 5,0 $\pm$ 0,3                               | 4,5 $\pm$ 0,1 | 9 $\pm$ 1                                        | 16 $\pm$ 4 |
|                                   | Viel MAT (N=7)             | 6,1 $\pm$ 0,2                               | 4,5 $\pm$ 0,1 | 37 $\pm$ 7                                       | 9 $\pm$ 1  |
| Spätrestriktion                   | Wenig MAT (N=7)            | 4,9 $\pm$ 0,2                               | 4,6 $\pm$ 0,2 | 37 $\pm$ 7                                       | 7 $\pm$ 1  |
|                                   | Viel MAT (N=5)             | 6,1 $\pm$ 0,2                               | 4,3 $\pm$ 0,2 | 19 $\pm$ 3                                       | 8 $\pm$ 1  |

Mittels der Clamp-Techniken wurde ein starker kurzzeitiger Effekt des Fütterungsniveaus in der frühen postnatalen Phase auf die periphere Insulin-Response nachgewiesen. Dieser lies sich jedoch nach einem halben Lebensjahr der Tiere nicht mehr bestätigen. Die pankreatische Insulin-Response war weniger stark durch das Fütterungsniveau der Kälber beeinflusst, es war jedoch ein statistischer Trend zu einer erhöhten pankreatischen Insulin-response nach einem halben Lebensjahr der Tiere belegbar. Das Fütterungsniveau der Muttertiere hatte weder auf den peripheren noch auf den pankreatischen Insulin-Response einen Einfluss.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mittels der in diesem Versuch angewandten Analysen nur marginale Langzeiteffekte von Fütterungsmaßnahmen während der Gravidität des Muttertieres bzw. der Tränkeperiode des Kalbes auf die metabolische Konstellation nachweisbar waren. Der im Trend erhöhte pankreatische Insulin-response kann auf eine Veränderung der Morphologie und Funktionsweise der beta-Zellen der Bauchspeicheldrüse hinweisen.

## Literatur

1. Gluckman PD, Hanson MA. The developmental origins of the metabolic syndrome. *Trends in Endocrinology and Metabolism* 2004;15:183-187
2. Dunger DB, Salgin B, Ong KK. Session 7: Early nutrition and later health early developmental pathways of obesity and diabetes risk. *Proceedings of the Nutrition Society* 2007;66:457-457
3. Forsen T, Eriksson J, Tuomilehto J, et al. The fetal and childhood growth of persons who develop type 2 diabetes. *Annals of Internal Medicine* 2000;133:176-182
4. Bauman DE, Bruce Currie W. Partitioning of Nutrients During Pregnancy and Lactation: A Review of Mechanisms Involving Homeostasis and Homeorhesis. *Journal of Dairy Science* 1980;63:1514-1529
5. Herdt TH. Ruminant adaptation to negative energy balance - Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice* 2000;16:215-230
6. Kaske M, Elmahdi B, von Engelhardt W, Sallmann HP. Insulin responsiveness of sheep, ponies, miniature pigs and camels: results of hyperinsulinemic clamps using porcine insulin. *Journal of Comparative Physiology B* 2001;171:549-556
7. Kaske M, Herzog K, Kraeft S, Rehage J. Pancreatic insulin response and tissue responsiveness to insulin in dry, lactating cows and cows with fatty liver: results of hyperglycaemic and hyperinsulinemic euglycemic clamp experiments. *Journal of Dairy Science* 2001;84:118
8. Fahrenkrog S, Harder T, Stolaczyk E, et al. Cross-fostering to diabetic rat dams affects early development of mediobasal hypothalamic nuclei regulating food intake, body weight, and metabolism. *The Journal of nutrition* 2004;134:648-654
9. Bayol SpA, Farrington SJ, Stickland NC. A maternal "junk food" diet in pregnancy and lactation promotes an exacerbated taste for "junk food" and a greater propensity for obesity in rat offspring. *British Journal of Nutrition* 2007;98:843-851
10. Oscai LB, McGarr JA. Evidence that the amount of food consumed in early life fixes appetite in the rat. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 1978;235:R141-R144
11. Foldager J, Krohn CC. Heifer calves reared on very high or normal levels of whole milk from birth to 6-8 weeks of age and their subsequent milk production. *Proc Soc Nutr Physiol* 1994;3:301
12. Foldager J, Krohn CC, Mogensen L. Level of milk for female calves affects their milk production in first lactation. *Proc 48th Ann Mtg European Assoc Anim Prod* 1997:271
13. Bar-Peled U, Robinson B, Maltz E, et al. Increased Weight Gain and Effects on Production Parameters of Holstein Heifer Calves That Were Allowed to Suckle from Birth to Six Weeks of Age<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science* 1997;80:2523-2528



14. Rincker LD, Vandehaar M, Wolf C, et al. Effects of an intensified compared to a moderate feeding program during the preweaning phase on long-term growth, age at calving, and first lactation milk production. *Journal of Dairy Science* 2006;89:438
15. Drackley JK, Pollard BC, Dann HM, Stamey JA. First-lactation milk production for cows fed control or intensified milk replacer programs as calves. *Journal of Dairy Science* 2007;90 (Suppl. 1):614
16. Moallem U, Werner D, Lehrer H, et al. Long-term effects of ad libitum whole milk prior to weaning and prepubertal protein supplementation on skeletal growth rate and first-lactation milk production. *Journal of Dairy Science* 2010;93:2639-2650
17. Soberon F, Raffrenato E, Everett RW, Van Amburgh ME. Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 2012;95:783-793

## **Einfluss von organischen Säuren auf die Effizienz von Phytase beim Schwein**

R. Blank<sup>1</sup>, P. Ader<sup>2</sup>, A. Susenbeth<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie,  
Christian-Albrechts-Universität Kiel

<sup>2</sup>BASF SE, Ludwigshafen

### **Einleitung**

In pflanzlichen Futtermitteln für Schweine liegt der größte Anteil (60-70 %) des Phosphors (P) an Phytinsäure gebunden vor. Ein Phytinsäuremolekül bindet 6 Phosphatgruppen und wird chemisch gesehen als *Myo-Inositol-Hexakis-Phosphat* (IP6) oder auch einfach als Phytat bezeichnet. Schweine und andere Monogastrier synthetisieren das Enzym Phytase in vernachlässigbarem Umfang im Verdauungstrakt, sodass der Phytinsäure-gebundene P der Pflanze als nicht verfügbar eingestuft wird. Durch den Zusatz von mikrobiellen Phytasen zu Schweinerationen kann die Verdaulichkeit des P aus pflanzlichen Komponenten deutlich erhöht werden, wodurch der Einsatz von mineralischem P in Rationen reduziert und somit die Ausscheidung von P über Harn und Kot deutlich gesenkt werden (Selle und Ravindran, 2007). Weiterhin zeigen *in vitro* Untersuchungen, dass verschiedene Mineralstoffe unlösliche Komplexe mit IP6 bilden, wodurch die Verdaulichkeit dieser Mineralstoffe ebenfalls reduziert wird. Zum anderen führt die Komplexbildung mit di- und trivalenten Kationen zu einer reduzierten Löslichkeit des IP6 wodurch dessen Hydrolyse durch mikrobielle Phytasen ebenfalls gehemmt wird. *In vitro* erwähnen Maenz et al. (1999) folgende Rangierung für Mineralstoffe bei neutralen pH bezüglich ihres hemmenden Einflusses auf die Phytathydrolyse durch mikrobielle Phytasen:  $\text{Zn}^{2+} \gg \text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ , eine Absenkung des pH-Wertes unter 4 führt jedoch zu einer deutlich verminderten Bildung von unlöslichen Komplexen, da bei niederen pH Werten das IP6-Molekül vermehrt in der nicht dissoziierten Form vorliegt. Aus den bisherigen *in vitro* Untersuchungen lässt sich folgern, dass eine Absenkung des pH Wertes im oberen Bereich des Verdauungstraktes eine verringerte Komplexbildung zur Folge haben sollte, wodurch ein höherer Prozentsatz des Phytats in gelöster Form vorliegen und somit die Effizienz mikrobieller Phytase verbessert sein sollte. In der Ernährung von Schweinen werden seit einigen Jahren organische Säuren wie Ameisensäure, Fumarsäure und

Milchsäure als Futterzusatzstoff zur Verbesserung der zootechnischen Parameter und Stabilisierung des Magen-Darm-Mikrobioms eingesetzt. Deren Wirksamkeit wird vor allem auf eine schnellere Durchsäuerung des Mageninhaltes zurückgeführt, was eine Verbesserung der „Keimbarriere Magen“ sowie der Proteinverdaulichkeit zur Folge hat (Partanen und Mroz, 1999). Ziel der im folgenden dargestellten Experimente war es, den Einfluss einer möglichen Interaktion der Zulage von mikrobieller Phytase (Natuphos, BASF, SE, Ludwigshafen, Deutschland) und Ameisensäure (Amasil 85, BASF SE, Ludwigshafen, Deutschland) auf die P- und Zn-Verdaulichkeit beim wachsenden Mastschwein zu untersuchen und zu quantifizieren.

### ***Experimentelle Untersuchung***

Diese Hypothese wurde in drei Bilanzversuchen an jeweils 12 Schweinen im Gewichtsbereich von 35-55 kg untersucht. Im Versuch 1 wurde nach einem 2-faktoriellen Modell eine Zulage von Ameisensäure (4,7g/kg) zu einer Ration mit 500 Units Phytase/kg untersucht. Die Menge der Ameisensäurezulage wurde so gewählt, dass der pH der Versuchsrations gegenüber der Kontrollration um ca. eine pH-Einheit abgesenkt wurde. Im Versuch 2 wurde der Einfluss einer Ameisensäurezulage (4,7 g/kg) zu einer Ration mit 1000 Units Phytase/kg untersucht und im Versuch 3 wurde der Einfluss einer steigenden Zulage von Ameisensäure (0; 1; 2,5; 4,5 g/kg) zu einer Phytase-haltigen (500 Units/kg) untersucht. Die Haltung der Tiere erfolgte in Stoffwechselkäfigen und alle Versuche wurden entsprechend einem 4 x 4 Lateinischen Quadrat durchgeführt. Jede Versuchsperiode innerhalb des Lateinischen Quadrates dauerte 10 Tage und bestand aus einer 5-tägigen Anfütterungsphase und einer anschließenden 5-tägigen Sammlung von Harn und Kot. Die Futteraufnahme betrug das 1,75-fache des Erhaltungsbedarfes und war auf zwei Mahlzeiten über den Tag verteilt. In allen drei Versuchen wurde eine Basalration (Tabelle 1) aus Weizen, Gerste, und Sojaextraktionsschrot mit defizitären P- und Zn-Gehalten gefüttert. Den Rationen wurde kein mineralischer P- oder Zn –Quellen zugesetzt. Die einzelnen Futterkomponenten wurden erhitzt (>80°), um eventuell vorhandene native, pflanzeneigene Phytase zu inaktivieren (Blaabjerg et al. 2012).

**Tabelle 1:** Zusammensetzung und Nährstoffgehalte der Basalration

| Komponenten                      | Anteil in % | Nährstoffgehalte         |      |
|----------------------------------|-------------|--------------------------|------|
| Weizen                           | 40          | Umsetzbare Energie MJ ME | 13,8 |
| Gerste                           | 35          | Rohprotein, g/kg         | 187  |
| Sojaextraktionsschrot            | 19          | Lysin, g/kg              | 10,5 |
| Sojaöl                           | 3           | P, g/kg                  | 3,5  |
| Mineral-Vitamin-Mix <sup>1</sup> | 3           | Zn, mg/kg                | 40   |

<sup>1</sup>Vitamin-Mineral-Premix liefert je kg Diät: Vit.A 10.000 IE, Vit.B 2000 IE, Vit.E 30 mg, Vit.K<sub>3</sub> 1,5 mg, Vit.B<sub>1</sub> 1mg, Vit.B<sub>2</sub> 4 mg, Vit.B<sub>6</sub> 1,5 mg, Vit.B<sub>12</sub> 20 µg, 100 mg Fe, 20 mg Cu, 30mg Mn, 0,15 mg Co, 0,7 mg J, 0,1 mg Se

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Im Versuch 1 führte der Zusatz von 500 U Phytase/kg zu einer Erhöhung der P-Verdaulichkeit von 40,3 (Kontrolle) auf 52,1 %. Der Zusatz von Ameisensäure zur Phytase (500 U/kg) haltigen Diät führte zu einem weiteren Anstieg der P-Verdaulichkeit auf 60,3 %. Im Versuch 2 führte die höhere Zulage von 1000 U Phytase zu einer Erhöhung der P-Verdaulichkeit von 41,2 auf 62,0 %. Bei gleichzeitiger Ameisensäurezulage zeigte sich bei der 1000 U Phytase enthaltenden Ration ein Anstieg der P-Verdaulichkeit auf 67,3 %. Im Vergleich zur Ration mit 500 U Phytase/kg Futter zeigte eine Erhöhung der Dosierung auf 1000 U Phytase/kg Futter einen weiteren Anstieg in der P Verdaulichkeit von 10 Prozentpunkten. Der Anstieg der P Verdaulichkeit bei Ameisensäurezulage zur Ration mit 500 U Phytase/kg betrug absolut 8,2 Prozentpunkte, während der Anstieg bei der Ration mit 1000 U Phytase/kg lediglich um absolut 5,3 Prozentpunkte anstieg. Im Versuch 3 konnte, bei steigender Ameisensäurezulage, erst bei der höchsten getesteten Supplementierung von 4,5 g/kg ein signifikanter Anstieg der P-Verdaulichkeit beobachtet werden. Die Verdaulichkeit von Zn war durch steigende Zulagen von Ameisensäure unbeeinflusst (Versuch 3). Im Versuch 1 und 2 zeigten sich für die Verdaulichkeit von Zn ähnliche Effekte wie sie auch bezüglich der P-Verdaulichkeit gezeigt werden konnten, allerdings sind die Effekte in ihrem Ausmaß nicht so ausgeprägt. Die gefundenen Ergebnisse sind als Übersicht in Tabelle 2 dargestellt und stehen im Einklang mit früheren Arbeiten. Jongbloed et al (2000) fanden einen Anstieg der P-Verdaulichkeit um ca. 5 Prozentpunkte bei sehr hohen Zulagen von 8 bzw. 16 g Ameisensäure/kg oder 16 bzw. 32g Milchsäure/kg zu bereits mit Phytase supplementierten Rationen, eine Dosisabhängigkeit ließ sich nicht nachweisen. Die Ca- und Mg-Verdaulichkeit war ebenfalls verbessert, was die Hypothese der verringerten Komplexbildung unterstreicht. Omogbenigun et al. (2003) fanden

nach Zulage einer Mischung diverser organischer Säuren (3,5 g/kg Nutriacid) zu phytase-haltigen Rationen eine Steigerung der P-Verdaulichkeit um 5 Prozentpunkte.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass eine Zulage von Ameisensäure bzw. organischen Säuren die Effizienz von Phytase deutlich erhöhen und somit eine weitere Einsparung an mineralischem Phosphor als möglich erscheint. Nach Kalkulationen von Rodehutsord et al. (2001) ist bei einer durchschnittlichen Weizen/Gerste/Soja-Ration bei Phytaseeinsatz die Notwendigkeit einer zusätzlichen Verwendung von mineralischen P bis zu einer Lebendmasse von etwa 45 kg gegeben. Im Gewichtsbereich von 45-80 kg reicht eine alleinige Phytase-Supplementierung bis zu 500 U ohne mineralische Ergänzung aus, während ab 90 kg Lebendmasse keine mineralische Ergänzung und kein Einsatz von Phytase notwendig ist, um den empfohlenen Gehalt an verdaulichen P je kg Futter zu gewährleisten.

**Tabelle 2:** Einfluss einer Zulage von Ameisensäure und Phytase auf die P- und Zn-Verdaulichkeit beim Schwein

| Versuch 1            |        |       |        |       |      |       |         |          |
|----------------------|--------|-------|--------|-------|------|-------|---------|----------|
| Ameisensäure, g/kg   | 0      | 4,7   | 0      | 4,7   |      |       | P <     |          |
| Phytase, U/kg        | -      | -     | 500    | 500   | SEM  | AS    | PHY     | AS × PHY |
| P Verdaulichkeit, %  | 40,3b  | 32,9b | 52,1a  | 60,3a | 2,69 | 0,879 | <0,001  | 0,007    |
| Zn Verdaulichkeit, % | 27,9a  | 11,8b | 25,8a  | 27,2a | 3,18 | 0,028 | 0,044   | 0,010    |
| Versuch 2            |        |       |        |       |      |       |         |          |
| Ameisensäure, g/kg   | 0      | 4,7   | 0      | 4,7   |      |       | P <     |          |
| Phytase, U/kg        | -      | -     | 1000   | 1000  | SEM  | AS    | PHY     | AS × PHY |
| P Verdaulichkeit, %  | 41,2b  | 39,3b | 62,0a  | 67,3a | 1,69 | 0,331 | < 0,001 | 0,039    |
| Zn Verdaulichkeit, % | 27,3ab | 20,3b | 32,3a  | 34,9a | 2,18 | 0,322 | < 0,001 | 0,035    |
| Versuch 3            |        |       |        |       |      |       |         |          |
| Ameisensäure, g/kg   | 0      | 1,0   | 2,5    | 4,5   | SEM  | P <   |         |          |
| P Verdaulichkeit, %  | 54,2b  | 54,2b | 56,6ab | 60,8a | 2,42 | 0,016 |         |          |
| Zn Verdaulichkeit, % | 25,1   | 19,2  | 22,9   | 26,6  | 4,11 | 0,431 |         |          |

a, b Mittelwerte in einer Zeile, die keinen gemeinsamen Buchstaben tragen, unterscheiden sich signifikant;

Für die praktische Rationsgestaltung lässt sich daher ableiten, dass der Einsatz einer Kombination von Phytase und organischen Säuren zwecks Einsparung von mineralischem P vor allem während der Anfangsmast (<45 kg LM) empfohlen werden kann.

### ***Schlußfolgerung***

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Ansäuerung der Diäten durch Ameisensäure beim Mastschwein die Verdaulichkeit des Phosphors deutlich verbessern und somit zu einer weiteren Einsparung des Phosphors in Diäten beitragen können, was sowohl aus ökonomischen als auch umweltrelevanten Aspekten vorteilhaft ist.

### ***Literatur***

Blaabjerg, K., Nørgaard, J. V., Poulsen H. D. (2012) Effect of microbial phytase on phosphorus digestibility in non-heat-treated and heat-treated wheat–barley pig diets. *Journal of Animal Science* 90:206–208

Jongbloed, A. W., Mroz, Z., van der Weij-Jongbloed, R., Kemme, P. A. (2000) The effects of microbial phytase, organic acids and their interaction in diets for pigs. *Livestock Production Science* 67, 113-122.

Maenz, D. D., Engele-Schaan, C. M., Newkirk, R. W., Classen, H. L. (1999) The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase-susceptible forms of phytic acid in solution and in a slurry of canola meal. *Animal Feed Science and Technology* 81, 177-192.

Omogbenigun, F. O., Nyachoti, C. M., Slominski, B. A. (2003) The effect of supplementing microbial phytase and organic acids to a corn-soybean based diet fed to early-weaned pigs. *Journal of Animal Science* 81, 1806-1813.

Partanen, K. H., Mroz Z. (1999) Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition Research Reviews* 12, 117-145.

Rodehutscord, M. (2001) Der gegenwärtige Stand der Phosphorbewertung für Nutztiere. *Lohmann Information* 1/2001:26-34.

Selle, P. H., Ravindran, V. (2007) Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. *Livestock Science* 113, 99-122.

## **Nahrungsketten-Transfer von Aflatoxinen: Am Beispiel von Aflatoxinen in Futtermitteln und Milch**

Hans-Georg Walte

Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Max Rubner-Institut

### **„Aflatoxin-Skandal 2013“**

In Niedersachsen wurde Anfang März 2013 bei routinemäßigen Kontrollen der Landesbehörde erhöhte Gehalte an Aflatoxin M<sub>1</sub> in einer Rohmilch festgestellt. Mit 57 ng/kg lag dieser Wert über dem europäischen Grenzwert von 50 ng/kg. Im Rahmen der Rückverfolgung konnte als Ursache die Verfütterung von mit Aflatoxin B<sub>1</sub> belastetem Mais aus Serbien festgestellt werden. Von den ca. 45.000 Tonnen mit Aflatoxinen belastetem Mais sind über die Häfen Hamburg und Brake um die 10.000t an niedersächsische Futtermittelunternehmen gelangt. Nach Angaben des Landwirtschaftsministeriums in Niedersachsen hatten 13 Futtermittelunternehmen den mit Aflatoxin belasteten Mais ausgeliefert. In geringeren Anteilen wurde das Mischfutter auch nach Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Sachsen sowie in die Niederlande abgegeben. Mit maximalen Konzentrationen im Mais von 204 µg/kg Aflatoxin B<sub>1</sub> ist eine Höchstmengenüberschreitung festgestellt worden. Erlaubt sind bei Futtermittel-Ausgangserzeugnissen nur 20 µg/kg (EU-VO 574/2011). Damit war der Grenzwert um das Zehnfache überschritten. Allein in Niedersachsen waren 4.467 Höfe betroffen, darunter rund 900 Milchbetriebe, die kurzfristig, bis zum Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte, mit einer Liefersperre belegt wurden.

### **Vorkommen**

Aflatoxine werden von Schimmelpilzarten vor allem der Gattung *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius*) unter ungünstigen Bedingungen in Futtermitteln gebildet. *A. flavus* ist ein ubiquitär vorkommender Schimmelpilz der vor allem im Boden verbreitet ist. Temperaturen zwischen 12 - 40°C mit einem Optimum zwischen 24-28°C und hohe Feuchtegehalte führen zu einer verstärkten Bildung von Aflatoxinen, u.a. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>. Während der Bestäubung bzw. des Kornwachstums fördern heiße, trockene Tage mit Temperaturen über 30°C, sowie warme Abende (>21°C) das Wachstum von *Aspergillus*-Arten. Eine Beschädigung der Körner durch Insektenfraß, Trockenheitsstress oder Hagel kön-

nen ebenso zu einem Anstieg des Befalles führen, erst ab einer Kornfeuchte von  $\leq 15\%$  kommt es zu keiner Vermehrung mehr. Die Mykotoxine sind durch ihre hohen Toxizität und starken Karzinogenität von großer Bedeutung. Aflatoxin  $M_1$  ist ein in der Leber hydroxylierter Metabolit von Aflatoxin  $B_1$ , der in der Milch nachgewiesen werden kann, wenn Aflatoxin  $B_1$  haltige Futtermittel verfüttert wurden. Die Toxine kommen überwiegend in subtropischen und tropischen und weniger in gemäßigten Anbaugebieten vor. In der Vergangenheit gelangten die Toxine oft über Komponenten wie Maiskleber, Sonnenblumen-, Sojaschrot und Ölsaaten-Presskuchen aus wärmeren Klimaten in die Futtermittel. Der Nachweis von Aflatoxin  $B_1$  in großen Partien wird durch die sogenannte „Nesterbildung“ behindert, die eine repräsentative Probenahme erschwert.

2012 war in Serbien ein sehr trockener Sommer und Temperaturen über  $30^\circ\text{C}$  wurden an fast 70 Tagen erreicht [1]. Diese optimalen Bedingungen für *Aspergillus* führten zu einem starken Anstieg von Aflatoxin  $B_1$  in der damaligen Maisernte. Im Frühjahr 2013 wurden in serbischer Trinkmilch Aflatoxin  $M_1$  Gehalte gefunden, die zu 80% über dem EU Grenzwert von  $50\text{ ng/kg}$  lagen. Daraufhin wurde im Februar 2013 der Grenzwert auf  $500\text{ ng/kg}$  erhöht [2, 3], der voraussichtlich im Mai 2014 wieder auf  $50\text{ ng/kg}$  zurückgesetzt werden soll.

Doch nicht nur im zugekauften Futter können Aflatoxine vorhanden sein, sondern auch im Grundfutter (EFSA[4]) und in hofeigenen Futtermitteln (z.B. konserviertes Getreide). Einen reduzierenden Einfluss auf die Mykotoxinkonzentration haben sowohl die Bedingungen vor der Ernte (gute Betriebshygiene: u.a. Fruchtfolge, Pilzresistenz) während der Ernte (u.a. Reife, schonende Ernte, hohe Trockensubstanzbildung) als auch nach der Ernte (Lagerung: u.a. kühl, trocken). Da die Silage eine Hauptkomponente in der Wiederkäuerfütterung ist, sollten auch hier vorbeugende Maßnahmen wie der richtige Erntezeitpunkt (evtl. Resistenzzüchtung), gute Silierpraxis als auch entsprechender Vorschub aus dem Silo (keine Erwärmung) angewendet werden [5].

### **Gesetzgebung**

Für Futtermittel sind die Höchstgehalte in der Richtlinie 2002/32/EG festgelegt worden. Die Futtermittelverordnung enthält in der Anlage 5 zu § 23 eine Höchstmenge für Aflatoxin  $B_1$  in Alleinfuttermitteln für Milchvieh in Höhe von  $5\mu\text{g/kg}$  Trockensubstanz und für Futtermittel Ausgangserzeugnisse von  $20\mu\text{g/kg}$  (EU-VO 574/2011). Dabei bezieht sich der verwendete Begriff Alleinfuttermittel auf die täglich in der Leistungsfütterung eingesetzte Trockensubstanzmenge der gesamten Ration.

Der o.g. Höchstmenge stehen im Lebensmittelbereich folgende Begrenzungen für den milchgängigen Metaboliten Aflatoxin  $M_1$  gegenüber, die in der EU-VO



165/2010 zur Änderung der EU-VO 1881/2006 folgende Grenzwerte festgelegt worden sind:

- Rohmilch , wärmebehandelte Milch und Werkmilch 50 ng/kg
- Säuglingsanfangsnahrung und Folgenahrung, einschließlich Säuglingsmilchnahrung und Folgemilch 25 ng/kg
- Diätetische Lebensmittel für besondere medizinische Zwecke, die eigens für Säuglinge bestimmt sind 25 ng/kg

Durch die deutsche VO über diätetische Lebensmittel, zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 15.11.2006 I 2654, wird der Wert für diätetische Lebensmittel für Säuglinge oder Kleinkinder auf 10 ng/kg herabgesetzt.

Diese Grenzwerte gelten jedoch nicht weltweit, z.B. in den USA und in der russischen Föderation/Zollunion gelten 500 ng/kg Aflatoxin M<sub>1</sub> als Höchstgehalt, dieser Wert deckt sich mit der Vorgabe vom Codex Alimentarius. Für die USA sind dementsprechend auch die Grenzwerte für Aflatoxin B<sub>1</sub> höher, für laktierende Milchtiere liegt der Wert für Mais zwar auch bei 20 µg/kg, jedoch können bis zu 300 µg/kg im Futtermais enthalten sein, wenn dieser zur Endmast von Rindern eingesetzt wird (Food and Drug Administration FDA [6]). Obwohl der Mais den Anforderungen des EU-Rechts nicht entsprach, konnte er in die USA exportiert werden, da die dortige zuständige Stellen (FDA) diesem ausdrücklich zugestimmt hatten, dieses ist im Einklang mit der EU-VO 178/2002.

### ***Übergang in die Milch***

Die carry over Raten nach oraler Aufnahme von Aflatoxin B<sub>1</sub> durch Verstoffwechselung zu Aflatoxin M<sub>1</sub> in die Milch können in Abhängigkeit von der Tierart aber auch innerhalb einer Tierart von Einzeltier zu Einzeltier erheblich schwanken. Für Milchrinder kann hier aus einer ganzen Anzahl von Untersuchungen eine Spanne von 1-6 % mit einem Durchschnitt von 2 % für das Gesamtgemelk abgeleitet werden, d.h. ca. 0,1% je kg Milch [7]. Einige Untersuchungen deuten jedoch auf eine starke Abhängigkeit von der Leistungshöhe an. Untersuchungen aus Israel zeigen einen carry over Rate von 5,4% am Laktationsanfang (>30l) die auf 2,5% in der Mitte bzw. Ende der Laktation (<30l) zurückgeht [8]. Untersuchungen im MRI an anderen Tierarten ergaben carry over Raten für die Milchziege von 1,5%, bei Milchschaafen von 0,8% und bei Stuten von 0,03% je kg Milch [9,10, 11].

Um die Belastung mit aflatoxinhaltigen Futtermitteln zu verringern, ist eine vertragliche Vereinbarung zwischen der Milcherzeugervereinigung Schleswig-Holstein e.V. (MEV-SH) und der Futtermittelindustrie als zielführend zu sehen,

die durch Festlegung eines Grenzwertes für Kraftfutter von maximal 1 µg Aflatoxin B<sub>1</sub>/kg Trockenmasse bei Rindern seit Jahren zur Produktion einer kaum mit Aflatoxin belasteten Milch in Schleswig-Holstein führt (Tab. 1).

| Tab. 1: Aflatoxin M <sub>1</sub> in Tankwagensammelmilch aus Schleswig-Holstein 2005-2012 (ng/kg), Untersuchungen BfEL/MRI |          |                |             |             |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------|-------------|-------------|--------------------------------|
| Jahr                                                                                                                       | n Proben | Min (n Proben) | $\bar{x}_G$ | $\bar{x}_A$ | Max (n Proben $\geq 10$ ng/kg) |
| 2005                                                                                                                       | 5649     | n.n.* (4946)   | 1,0         | 1,4         | 11,0 (7)                       |
| 2006                                                                                                                       | 5201     | n.n.* (3819)   | 2,0         | 2,3         | 16,0 (27)                      |
| ...                                                                                                                        | ..       | ..             | ..          | ..          | ..                             |
| 2011                                                                                                                       | 4250     | n.n.* (3174)   | 0,9         | 2,0         | 20,0 (12)                      |
| 2012                                                                                                                       | 4162     | n.n.* (3373)   | 0,6         | 1,6         | 30,0 (13)                      |

\*nicht nachweisbar ( $\leq 3$  ng/kg)

Durch die im laufendem Forschungsvorhaben durchgeführten Messungen auf Aflatoxin M<sub>1</sub> auf Tanksammelwagenebene konnten einige Betriebe identifiziert werden, die erhöhte Werte ( $>10$ ng/kg Selbstverpflichtungsgrenze MEV-SH) aufwiesen. Als Haupteintragungsquelle wurde zwar das Kraftfutter identifiziert, aber auch im Grundfutter (Silagen) konnten erhöhte Aflatoxin B<sub>1</sub> Werte festgestellt werden.

Aus den vorliegenden Daten der Milchuntersuchung auf Aflatoxin M<sub>1</sub> und den Messwerten des Aflatoxin B<sub>1</sub> in Futtermitteln ergeben sich erhöhte carry over Raten von ca. 6%. Dieser Wert liegt zwar noch im Rahmen der in der Literatur angegebenen Übergangsraten, aber doch deutlich über den ca. 2,5%, die normalerweise angenommen werden.

Warum es trotzdem zu Grenzwertüberschreitungen kommen kann, zeigt folgende Modellrechnung: Bei Aufnahme von 17,5 kg Trockenmasse pro Tag werden bei Ausschöpfung des Grenzwertes von 5 µg/kg für Alleinfuttermittel insgesamt 87,5 µg Aflatoxin B<sub>1</sub> aufgenommen. Dies würde bei einem durchschnittlichen carry over von 2,5 % zu einem Gehalt von 2,19 µg Aflatoxin M<sub>1</sub> pro Tagesgemelk führen. Bei einem durchschnittlichen Tagesgemelk von 25 kg Milch wären dies 0,0875 µg bzw. 87,5 ng Aflatoxin M<sub>1</sub>/kg, wodurch diese Milch weder den Grenzwert für Milch ohne besonderen Verwendungszweck von 50 ng/kg noch den für diätetische Lebensmittel von 10 ng/kg einhalten würde. Bei den beobachteten carry over Raten von 6% würde dies sogar zu 210 ng/kg Milch führen (5,25 µg  $\rightarrow$  25 kg  $\rightarrow$  0,21 µg).

Eine Milchviehration von 17,5 kg Trockenmasse ist normalerweise ein Gemisch aus verschiedenen Futtermitteln, wobei es sehr unwahrscheinlich ist, dass diese alle eine entsprechend hohe Kontamination mit Aflatoxin B<sub>1</sub> aufweisen. Zudem

erhalten nur hochleistende Tiere einen hohen Kraftfutteranteil, wodurch es in der Tanksammelmilch eventuell zu entsprechenden Verdünnungseffekten kommen könnte.

Auch wenn dies nicht die Situation auf der Einzeltierebene wiedergibt zeigt es doch, dass ein Absenken des Grenzwertes im Futtermittel, wie es auch schon lange diskutiert wird, in der Praxis realisierbar ist und zu dem gewünschten Ergebnis führt.

Unter praktischen Verhältnissen entstehen die tatsächlichen Gehalte an Aflatoxin  $M_1$  in der Milch als „Mittelwert“ aus

- dem Anteil an Aflatoxin  $B_1$  in der Gesamtration (Kraftfutter + Grundfutter)
- tierindividueller Schwankung der carry over Rate
- Vermischung und ggf. Verdünnung in Bestands- und Tanksammelmilch.

Das oben dargestellte gilt vor allem für Tankmilch, als der üblicherweise in den Verzehr gelangenden Milch.

Bei erhöhten Aflatoxingehalten in der Milch kann durch eine Umstellung auf aflatoxinfreies Futtermittel (meistens Kraftfutterwechsel) die Aflatoxinbelastung innerhalb eines Tages halbiert werden. Da das Toxin sich nicht im Körper akkumuliert, wird es u.a. mit der Milch kontinuierlich ausgeschieden und zeigt eine Halbwertszeit von ca. 1 Tag. Je nach Ausgangskonzentration ist die Milch dann innerhalb weniger Tage nach dem Futterwechsel wieder unterhalb des Grenzwertes von 50ng/kg.

### ***Vorkommen in Milchprodukten***

Außer für die o. A. Produkte sind keine einheitlichen Grenzwerte für Aflatoxingehalte in Milchprodukten in der EU vorhanden. Einige Länder haben für Käse eigene Grenzwerte eingeführt, so hat sich in Italien ein vorübergehender Wert für Hartkäse von 450 ng/kg etabliert [12] in der Schweiz liegt dieser Wert bei 250 ng/kg [13] und in Holland und der Türkei bei 200 ng/kg [12].

Das semipolare Aflatoxin  $M_1$  ist hauptsächlich an Kasein gebunden und zu ca. 30% an fettfreie feste Milchbestandteile. Dadurch kommt es zu einer Anreicherung in Magermilchprodukten. Obwohl teilweise unterschiedliche Ergebnisse publiziert werden, scheint eine Erhitzung wie z.B. Pasteurisierung bzw. Sterilisierung der Milch das sehr hitzestabile Toxin nicht zu zerstören. Es kommt somit zu keiner Abnahme der AFM<sub>1</sub> Konzentration in der Milch [14].

Bei der Herstellung von Käse kommt es zu einer Anreicherung des Aflatoxingehaltes in der Molke von ca. 60% des Ausgangsgehaltes, während im Bruch bzw. Käse ca. 40% des AFM<sub>1</sub> verbleiben [15, 16] Battacone et al. (2005) konnten auch eine Regressionsgleichung zwischen den Aflatoxin  $M_1$  Gehalt in der Molke und dem Aflatoxin  $M_1$  Gehalt der Ausgangsmilch berechnen ( $y=0,70X$ ;

r=0,98). Manetta et al. [17] kamen zu einem ähnlichen Ergebnis und konnte auch für den Bruch und den Hartkäse Gleichungen aufstellen (s. Tab. 2).

| Tab 2: Beziehung zwischen dem Aflatoxingehalt in der Ausgangsmilch und dem Endprodukt (Manetta et al. 2009 [17]) |                                 |                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|------|
| Y                                                                                                                | X                               | Gleichung          | r    |
| AFM <sub>1</sub> in Molke ng/kg                                                                                  | AFM <sub>1</sub> in Milch ng/kg | $Y=0,6194x-0,0973$ | 0,99 |
| AFM <sub>1</sub> im Bruch ng/kg                                                                                  | AFM <sub>1</sub> in Milch ng/kg | $Y=3,037x+11,076$  | 0,93 |
| AFM <sub>1</sub> im Hartkäse ng/kg                                                                               | AFM <sub>1</sub> in Milch ng/kg | $Y=4,5056x+34,156$ | 0,94 |

### **Ausblick**

Durch das kontinuierliche Monitoring liegt die Belastung der Milch mit Aflatoxin M<sub>1</sub> auf einem sehr niedrigen Niveau. Durch die konsequente Minimierung des Eintrages von Aflatoxin B<sub>1</sub> in Futtermittel (auch im Wirtschaftsfutter) kann das niedrige Aufkommen gehalten bzw. noch verringert werden. Einzelne „Ausreißer“ werden aber nicht gänzlich verhindert werden können.

### **Literatur**

- [1] Jovana Kos, Jasna Mastilović, Elizabet Janić Hajnal, Bojana Šarić, Natural occurrence of aflatoxins in maize harvested in Serbia during 2009-2012; Food Control 34 (2013) 31-34
- [2] Jovana Kos, Jovanka Lević, Olivera Đuragić, Bojana Kokić, Ivana Miladinović, Occurrence and estimation of aflatoxin M<sub>1</sub> exposure in milk in Serbia; Food Control 38 (2014) 41-46
- [3] Biljana Škrbić, Jelena Živančev, Igor Antić, Michal Godula, Levels of aflatoxin M<sub>1</sub> in different types of milk collected in Serbia: Assessment of human and animal exposure; Food Control 40 (2014) 113-119
- [4] Gutachten des Wissenschaftlichen Gremiums für Kontaminanten in der Lebensmittelkette CONTAM auf Ersuchen der Kommission bezüglich Aflatoxin B<sub>1</sub> als unerwünschte Substanz im Tierfuttermittel : EFSA-Q-2003-035
- [5] Cheli, F., et al., Fungal populations and mycotoxins in silages: From occurrence to analysis; Anim. Feed Sci. Tech. (2013)
- [6] FDA (U.S. Food and Drug Administration) Compliance Policy Guidance Manual CPG Sec. 683.100 Action Levels for Aflatoxins in Animal Feeds
- [7] A. Blüthgen , P. Hammer und P. Teufel: Mykotoxine in der Milcherzeugung -Vorkommen, Bedeutung und Möglichkeiten der Minimierung in der Produkt-

kette Futtermittel-Milch; Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 56, 219-263, 2004

[8] Malka Britzi, Shmulik Friedman, Joshua Miron, Ran Solomon, Olga Cuneah, Jakob A. Shimshoni, Stefan Soback, Rina Ashkenazi, Sima Armer and Alan Shlosberg, Carry-Over of Aflatoxin B<sub>1</sub> to Aflatoxin M<sub>1</sub> in High Yielding Israeli Cows in Mid- and Late-Lactation; Toxins 2013, 5, 173-183

[9] A. Blüthgen: Übergang von Aflatoxin B<sub>1</sub> als Aflatoxin M<sub>1</sub> in die Milch laktierender Pflanzenfresser (außer Rindern) vor dem Hintergrund futtermittelrechtlicher und lebensmittelrechtlicher Vorgaben 1. Mitteilung: Laktierende Stuten; Tierärztliche Umschau 62, 403-409, 2007

[10] A. Blüthgen: Übergang von Aflatoxin B<sub>1</sub> als Aflatoxin M<sub>1</sub> in die Milch laktierender Pflanzenfresser (außer Rindern) vor dem Hintergrund futtermittelrechtlicher und lebensmittelrechtlicher Vorgaben 2. Mitteilung: Milchziegen; Tierärztliche Umschau 63, 14-20, 2008

[11] A. Blüthgen: Übergang von Aflatoxin B<sub>1</sub> als Aflatoxin M<sub>1</sub> in die Milch laktierender Pflanzenfresser (außer Rindern) vor dem Hintergrund futtermittelrechtlicher und lebensmittelrechtlicher Vorgaben 3. Mitteilung: Milchschafe; Tierärztliche Umschau 63, 159-164, 2008

[12] Montagna M., Napoli, C., De Giglio O, Iatta R. and Barbuti G., Occurrence of Aflatoxin M<sub>1</sub> in Dairy Products in Southern Italy; Int. J. Mol. Sci. 9, 2614-2621 (2008)

[13] Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln: vom 26. Juni 1995 (Stand am 1. Juni 2011) - Schweiz

[14] Weidebörner, W.: Encyclopedia of food mycotoxins; Springer Verlag Berlin (2001)

[15] Lopez, C., Ramos, L., Ramadan, S., Bulacio, L., Perez, J., Distribution of aflatoxin M<sub>1</sub> in cheese obtained from milk artificially contaminated; International Journal of Food Microbiology 64, 211–215 (2001)

[16] G. Battaccone, A. Nudda, M. Palomba, M. Pascale, P. Nicolussi, and G. Pulina, Transfer of Aflatoxin B<sub>1</sub> from Feed to Milk and from Milk to Curd and Whey in Dairy Sheep Fed Artificially Contaminated Concentrates; J. Dairy Sci. 88:3063–3069 (2005)

[17] Manetta A., Giammarco M., Di Giuseppe L., Fusaro I., Gramenzi A., Formigoni A., Vignola G., Lambertini L., Distribution of aflatoxin M<sub>1</sub> during Grana Padano cheese production from naturally contaminated milk; Food Chemistry 113, 595–599 (2009)

# **Einsatz von Antibiotika in der Tierproduktion und Entstehung von Antibiotikaresistenzen - Auswirkungen auf die Lebensmittelsicherheit –**

Jan Kabisch, Wilhelm Bockelmann, Diana Meske und Knut J. Heller

Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie, Max Rubner-Institut

## **Einleitung**

In Deutschland, wie in anderen Ländern der europäischen Union, werden in den letzten Jahrzehnten zunehmend Probleme bei der Behandlung von Infektionskrankheiten beim Menschen beschrieben, die durch resistente Bakterien verursacht werden. Im Bericht zu den Antibiotikaresistenzen des Europäischen Zentrums für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (ECDC) aus dem Jahr 2011 wurde vor allem auf die deutliche Zunahme kombinierter Resistenzen bei *Escherichia coli* und *Klebsiella pneumoniae* hingewiesen (ECDC, 2012). Dieser hohe und wahrscheinlich weiter ansteigende Prozentsatz kombinierter Resistenzen bringt es mit sich, dass bei einigen Patienten mit lebensbedrohlichen bakteriellen Infektionen nur noch wenige therapeutische Optionen zur Verfügung stehen.

Probleme bereitet jedoch nicht nur die Zunahme der Resistenzen im humanen Bereich sondern auch die Selektion resistenter Bakterien in der Veterinärmedizin und entlang der Lebensmittelkette. Auch in der Primärerzeugung der Lebensmittel sind Antibiotika in der Therapie unverzichtbar und ein wichtiges Werkzeug zur Gesunderhaltung der Tiere. In der Tierhaltung können sie jedoch kein Ersatz für suboptimale Haltungsbedingungen und mangelnde Hygiene sein. Vielmehr muss auf den gerechtfertigten Einsatz der Antibiotika geachtet werden.

Als Konsequenz wurde 2008 die „DART – Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie“ durch die Bundesministerien für Gesundheit, für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und das Bundesministerium für Bildung und Forschung ins Leben gerufen. Eine erste wichtige Maßnahme in diesem Zusammenhang war die 16. Änderung des Arzneimittelgesetzes AMG vom 10.10.2013. Wichtigster Ansatzpunkt dieser Gesetzesnovelle ist ein Antibiotika-Minimierungskonzept für den Veterinärbereich.

Die vorliegende Publikation informiert über die Entstehung von Antibiotikaresistenzen, zeigt Daten über den aktuellen Antibiotikaeinsatz in der deutschen

Tierproduktion und die damit verbundenen möglichen Auswirkungen auf die Lebensmittelsicherheit.

### **Entstehung von Antibiotikaresistenzen**

Mikroorganismen produzieren wahrscheinlich schon seit 40 Mio. – 2 Mrd. Jahren antimikrobiell wirksame Substanzen (Costa et al., 2011; Hall & Barlow, 2004). Um sich der Schadwirkung antimikrobieller Wirkstoffe zu entziehen, haben sich Bakterien angepasst. Heute ist bekannt, dass Mikroorganismen ein gewisses Grundrepertoire an Resistenzmechanismen besitzen auf das sie zurückgreifen können. Dieses kann sowohl auf Protein- als auch auf Genebene zur Verfügung stehen (siehe Abb. 1.).

#### *Proteinebene*

Ein erster und wesentlicher Bestandteil der Resistenzmechanismen ist die Verminderung der Antibiotikakonzentration im Bakterium. Dies kann zum einen durch verminderte Aufnahme (Permeabilitätsbarrieren) oder zum anderen durch erhöhte Ausschleusung durch spezifische oder allgemeine Transportsysteme erfolgen (Levy, 1992). So erhöht beispielsweise eine Modifizierung der Membran der Zellen die Widerstandskraft Gram negativer Bakterien gegen hydrophobe Antibiotika (Nikaido et al., 1989 & 2003; Kumar & Schweizer, 2005). Des Weiteren können Bakterien antimikrobielle Wirkstoffe enzymatisch durch Spaltung oder Modifikation inaktivieren. Von klinischer Bedeutung ist hierbei insbesondere die enzymatische Hydrolyse der  $\beta$ -Laktame durch bakterielle  $\beta$ -Laktamasen (Wright, 2005).

Darüber hinaus nutzen Bakterien Möglichkeiten, um die Zielorte des Antibiotikums vor dessen Wirkung zu schützen. Dies kann zum Beispiel durch strukturelle Veränderung des Zielortes geschehen. Dadurch gehen beispielsweise Bindungsstellen für den Wirkstoff verloren oder die Bindungsaffinität vermindert sich deutlich (Lambert, 2005).

#### *Genebene*

Genetische Strukturen, die eine Resistenz gegenüber Antibiotika verursachen, entwickeln sich *de novo* durch die Mutation bestehender Gene oder können durch Aufnahme bereits existenter Gene anderer Bakterien erworben werden (horizontaler Gentransfer). Resistenz bedingende Mutationen können zum einen struktureller oder zum anderen regulatorischer Natur sein. Austausch, Addition oder Deletion einzelner Nukleotide in der DNA führen meist zu einer Änderung der von diesem Gen codierten Proteinstrukturen. Dadurch können Zielstrukturen im Bakterium so verändert werden, dass ein Angriffsort für das Antibiotikum nicht länger gegeben ist.

# Resistenz-Mechanismen

The diagram illustrates a bacterial cell with various components and resistance mechanisms. Labels include: Antibiotika Resistenz-Gene, Auswärtspumpe, Antibiotika-spaltendes Enzym, Antibiotikum, Bakterien-Zelle, CHROMOSOM, and PLASMID. Three mechanisms are shown: (a) an efflux pump (Auswärtspumpe) on the cell membrane that uses energy (green arrow) to pump antibiotics out; (b) an antibiotic-degrading enzyme (Antibiotika-spaltendes Enzym) that breaks down antibiotics (purple arrow); and (c) an antibiotic-modifying enzyme (Antibiotika änderndes Enzym) that alters antibiotics (yellow arrow). A plasmid (PLASMID) is shown containing resistance genes (Antibiotika Resistenz-Gene). The cell's chromosome (CHROMOSOM) is also visible. Red diamonds represent antibiotics being pumped out, red circles represent antibiotics being degraded, and red triangles represent antibiotics being modified.

## Antibiotika Einsatz in der Tierproduktion

71



In Deutschland werden die Abgabemengen von Tierarzneimitteln mit antimikrobiellen oder hormonellen Wirkstoffen an das Deutsche Institut für medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) gemeldet und anschließend im Tierarzneimittel-Abgabemengen-Register (TAR) zusammengeführt. Die Daten werden regional gegliedert, jährlich erfasst und anschließend im Folgejahr vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) ausgewertet und veröffentlicht.

Für das Jahr 2012 wurden insgesamt 1619 t antimikrobiell wirksame Grundsubstanz (ohne Arzneimittelvormischungen) an in Deutschland niedergelassene Tierärzte abgegeben. Den mengenmäßig größten Anteil machten wie im Jahr 2011 mit 566 t die Tetracycline und mit 498 t die Penicilline aus (siehe Abb. 2). Mit Abstand folgten Sulfonamide (162 t), Makrolide (145 t) und Polypeptid-Antibiotika (124 t). Weiterhin lagen Cephalosporine der 3. und 4. Generation unter 5 t (Werte nicht gezeigt). Diese Daten zeigen, dass der größte Anteil der Abgabemengen auf sogenannte „alte“ Substanzen entfällt, während Fluorchinolone und Cephalosporine der 3. und 4. Generation in der Veterinärmedizin nur eine untergeordnete Rolle spielen. Vergleicht man die Jahre 2011 und 2012 (für das Jahr 2013 lagen leider zum Redaktionsschluss noch keine Daten vor) lässt sich eine Abnahme der abgegebenen Antibiotikamenge feststellen (siehe Abb. 2).

| Wirkstoffklasse        | Abgegebene Menge [t] 2011 | Abgegebene Menge [t] 2012 | Differenz [t]* |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Tetracycline           | 564                       | 566                       | 2              |
| Penicilline            | 527,5                     | 498                       | -29,5          |
| Sulfonamide            | 185                       | 162                       | -23            |
| Makrolide              | 173                       | 145                       | -28            |
| Polypeptid-Antibiotika | 127                       | 124                       | -3             |
| Aminoglykoside         | 47                        | 40                        | -7             |
| Trimethoprim           | 30                        | 26                        | -4             |
| Lincosamide            | 17                        | 15                        | -2             |
| Pleuromutiline         | 14                        | 18                        | 4              |
| Fluorchinolone         | 8                         | 10                        | 2              |
| Fenicole               | 6                         | 6                         | 0              |
| <b>Summe</b>           | <b>1.706</b>              | <b>1.619</b>              | <b>-87</b>     |

Abb. 2: Auszug aus dem Tierarzneimittel-Abgabemengen-Register, 2013

Da aber anhand dieser Daten kein Rückschluss auf die Tierarten und Therapiehäufigkeit gezogen werden kann, ist die Verknüpfung der Abgabemengen mit Resistenzdaten nicht sachgerecht. Hierzu müssten weitere Studien herangezogen bzw. durchgeführt werden.

### **Auswirkungen auf die Lebensmittelsicherheit**

Wie bereits beschrieben sind Antibiotika in der modernen Nutztierhaltung ein unverzichtbarer Bestandteil der Therapie und Gesunderhaltung. Werden Nutztiere mit Antibiotika behandelt, können Rückstände der eingesetzten Wirkstoffe in den von diesen Tieren gewonnenen Lebensmitteln zurückbleiben. Um dies zu verhindern muss bei behandelten Tieren je nach Antibiotikum eine unterschiedlich lange Haltezeit eingehalten werden, ehe sie zur Schlachtung kommen. Zum Schutz der Verbraucher vor Antibiotikarückständen wurden Rückstandshöchstmengen für zugelassene Wirkstoffe festgelegt, die nicht überschritten werden dürfen. Um dies zu überprüfen werden seit 1989 im Rahmen des Nationalen Rückstandskontrollplans (NRKP) Lebensmittel tierischer Herkunft auf Rückstände untersucht.

Im Rahmen des NRKP's wurden in den Jahren zwischen 2008 und 2011 ca. 64.000 Proben auf ihren Gehalt an antibiotisch aktiven Substanzen untersucht. Dabei wurden in 35 Proben Höchstmengenüberschreitungen festgestellt (Gehling, 2013).

Da die Probenahme zielorientiert ist und keine statistisch repräsentativen Daten liefert, dient der NRKP zwar dem Verbraucherschutz. Aussagen zur tatsächlichen Belastung des Verbrauchers mit unerwünschten Stoffen aus tierischen Lebensmitteln können aber nicht abgeleitet werden. Um jedoch auch hier eine Aussage treffen zu können, wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit ein Projekt (2008-2012) am Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) gefördert. Insgesamt wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ca. 1200 Proben (Eier, Honig, Milch und Fleisch) auf bis zu 60-70 Einzelsubstanzen hin untersucht (Hausmann, 2013).

#### *Milch*

In vier von 200 untersuchten Milchproben waren Rückstände von Antibiotika in sehr geringen Konzentrationen nachweisbar. In keiner Probe wurde eine Höchstmengen Überschreitung festgestellt.

#### *Eier*

Lediglich in einer von 201 Probe war mit 3 µg/kg der Rückstand des Antibiotikums Tylosin nachweisbar (erlaubt sind: 200 µg/kg).

### *Honig*

Die Forschungsgruppe unterteilte den Honig in zwei Gruppen. Honig aus Bayern und Honig aus dem Ausland. Im bayerischen Honig konnten keine antibiotisch wirkenden Rückstände gefunden werden. Dagegen wurden in 29 von 113 Proben ausländischer Herkunft Antibiotikaspuren gefunden. Jedoch lagen alle Rückstände bei max. 0,001 mg/kg und damit unterhalb der statistisch sicher quantifizierbaren Gehalte für die einzelnen Substanzen.

### *Fleisch*

Es wurden 105 Hähnchenfleisch- und 102 Putenfleischproben, 169 Rind- und 175 Schweinefleischproben untersucht. Die Nachweishäufigkeit war dabei jedoch stark abhängig von der Tierart und lag meist deutlich unterhalb der zulässigen Höchstmenge. Vor allem Puten- und Schweinefleisch waren mit 62 % bzw. 45 % der Proben positiv. Hähnchen- bzw. Rindfleisch wurden mit 11 % bzw. 1 % nur selten auf Antibiotikarückstände positiv getestet.

Auf Grund der Auswertung der Proben des NRKP's und der Daten der Studie vom LGL wird aus toxikologischer Sicht das Risiko für den Verbraucher durch die Aufnahme von Antibiotikarückständen aus tierischen Lebensmitteln als gering eingeschätzt (Hausmann, 2013).

Jedoch ist nicht auszuschließen, dass bei wiederholter Exposition mit antimikrobiell wirksamen Substanzen, gerade in subinhibitorischen Konzentrationen, das Risiko der Ausbildung von Antibiotika-Resistenzen besteht.

### *Somit stellt sich die Frage: Wie häufig sind eigentlich Antibiotika-resistente Mikroorganismen in der Primärerzeugung und später im Lebensmittel?*

Diese Frage wurde unter anderem im Rahmen des Forschungsverbundes RESET für die Extended Spectrum Beta Lactamase-produzierenden *Escherichia coli* näher untersucht (Hille, et al., 2013). Insgesamt wurden 124 Betriebe, darunter 34 Broiler-, 48 Schweinemastbetriebe und 42 Rinderhaltende Betriebe auf ihr Vorkommen von  $\beta$ -Lactam-resistente *E. coli* überprüft. Das Vorkommen der Keime lag bei allen untersuchten Betrieben bei über 80 %. (Broilerbetriebe: 100 %, Schweinemastbetriebe: 85 % und Rinderhaltende Betriebe: 81 %). In einer weiteren Studie wurde von Tenhagen et al., (2009) das Vorkommen von Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA) in der Primärproduktion untersucht. So konnte festgestellt werden, dass in ca. 5- 20 % der Hähnchen- und Putenbetriebe MRSA nachgewiesen werden konnte. Bei Rindern konnten Nachweisraten zwischen 8 % (Mastrinder) und 30 % (Mastkälber) dokumentiert werden. Bei Schweinen, die zur Schlachtung gebracht wurden, lag der Wert mit ca. 60 % deutlich höher. Dies zeigt ganz deutlich, dass Antibiotika-resistente Mikroorganismen bereits in der Primärproduktion also bereits in den Ställen

vorhanden sind. Doch lassen sich diese Bakterien auch anschließend im Lebensmittel nachweisen?

Dies soll im Folgenden am Beispiel der Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* erläutert werden. Tenhagen et al., (2009) konnte zeigen, dass 60 % der Schweine, die zur Schlachtung kommen, positiv auf MRSA getestet wurden. Aber bei der anschließenden Untersuchung von Schweinefleischproben aus dem Einzelhandel waren nur 15,8 % positiv für MRSA (Tenhagen et al., 2103). Spe-scha et al., (2006) führt diese Beobachtung vor allem auf die Prozessschritte Brühen und Abflämmen zurück, welche die bakterielle Kontamination auf der Oberfläche der Schlachtkörper deutlich reduzieren.

Im Vergleich zur Situation beim Schwein stellt sich die Situation beim Hähnchen komplett anders dar. Im Rahmen eines Zoonosen Monitorings 2010 (BVL, 2012) wurden nur wenige MRSA positive Hähnchenbestände gefunden. Jedoch wurden anschließend 48,3 % der Schlachtkörper und später ca. 25 % der Proben aus dem Einzelhandel positiv auf Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* getestet. Diese Ergebnisse wurden auch für andere bakterielle Erreger wie *Salmonella* und *Campylobacter* bestätigt (BfR, 2009). Bei allen Unterschieden in der Biologie der Erreger deuten diese Ergebnisse auf eine erhebliche Kreuzkontamination im Rahmen der Hähnchenschlachtung hin. Dies könnte dem Vorkommen von Zoonoseerregern und resistenten Bakterien auf Fleisch im Einzelhandel einen Vorschub leisten (BfR, 2013). Eine ähnliche Studie aus den Niederlanden zeigt zum Beispiel, dass Menschen, die regelmäßig Geflügelfleisch verzehren, ein höheres Risiko tragen, mit MRSA besiedelt zu sein, als solche, die dies nicht tun (van Rijen et al., 2013).

## **Zusammenfassung**

Antibiotika sind natürliche Stoffwechselprodukte die von einer Vielzahl von Mikroorganismen produziert werden. Genauso alt wie die Antibiotika sind wahrscheinlich auch die Resistenzmechanismen. Erst durch den z.T. sehr großzügigen Einsatz von Antibiotika im humanen- wie auch im veterinärmedizinischen Bereich wurden vor allem die Bakterien mit Resistenzgenen selektiert. Erst durch die daraus resultierenden Probleme hat ein Umdenken stattgefunden. Dies findet in der Deutschen Antibiotika-Resistenz-Strategie von 2008 Anwendung. Jedoch sollten wir nicht nur über die Reduzierung der Antibiotikamenge reden, sondern auch über die Verbesserung der Tiergesundheit, und das ist Tierhaltung, Betreuung, Biosicherheit und Hygiene (Blaha, 2013). Denn, wenn die Tiere genügend Platz haben und z.B. durch die Verwendung von Spielzeug (siehe Abb. 3) weniger Langweile oder aufgestaute Aggressionen haben (welche im Falle der Schweine z.B. zu Stressbeißen führt) gibt es weniger Verletzungen und somit weniger mikrobielle Eintrittspforten. Dadurch steigt die Tier-

gesundheit und gleichzeitig muss weniger mit Antibiotika behandelt werden. Eine „Win Win“ Situation für alle



Abb. 3: Schweine mit Spielzeug (Quelle: [www.provieh.de](http://www.provieh.de), 2011)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass aus toxikologischer Sicht das Risiko für den Verbraucher durch die Aufnahme von Antibiotikarückständen aus tierischen Lebensmitteln als gering eingeschätzt werden kann (Hausmann, 2013). Weiterhin konnte festgestellt werden, dass Antibiotika-resistente Mikroorganismen entlang der Lebensmittelkette der tierischen Erzeugnisse nachgewiesen werden konnten. Zum Teil waren die Nachweisraten für die einzelnen Bakterien in der Primärproduktion relativ hoch. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die verschiedenen Prozesse bei der Lebensmittelherstellung einen unterschiedlichen Einfluss auf das Vorkommen der resistenten Mikroorganismen im Lebensmittel haben. Über das Risiko der Ausbildung von Antibiotika-Resistenzen durch den Verzehr von Antibiotika-haltigen tierischen Lebensmitteln können z.Z. keine abschließenden Aussagen gemacht werden und es bedarf an dieser Stelle weiterer Forschung (Gehling, 2013).

## **Neue Wege in der Ernährung von Fischlarven**

Rehberg-Haas, S.; Meyer, S.; Schulz, C

Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Gesellschaft für marine Aquakultur

### **Futtermittel in der Aquakultur**

Die Aquakultur ist immer noch einer der am schnellsten wachsenden Bereiche in der Tierproduktion. Der weltweite Ertrag aus der marinen Aquakultur konnte sich in den Jahren zwischen 2000 und 2011 fast verdoppeln. Das schnelle Wachstum in der Fischproduktion führt aber auch zu einem steigenden Bedarf an geeigneten Fischfuttermitteln.

Ein Hauptthema in der Forschung und Entwicklung der Aquakultur ist der Einsatz von nachhaltigen Rohstoffen als Alternative zu Fischmehl und Fischöl. Denn obwohl die Aquakultur in der jüngsten Vergangenheit stark gewachsen ist, ist die Fischmehl- und Fischölproduktion heute fast auf dem gleichen Niveau wie zu Beginn der 1970er Jahre. Durch die stagnierenden Produktionszahlen und die gleichzeitig steigende Nachfrage, kommt der Bereitstellung alternativer Rohstoffe immer größere Bedeutung zu. Als Folge wurde in den vergangenen Jahren großer Forschungsaufwand betrieben, bedarfsgerechte und kosteneffiziente Rohstoffe für den Einsatz in der Fischernährung zu erarbeiten (Tacon and Jackson 1985). Dabei lag das Hauptaugenmerk aufgrund der Verfügbarkeit und der nutritiven Qualität auf pflanzliche Produkte, wie z.B. Getreide, Leguminosen oder Hülsenfrüchte (FAO, 2005). Die nutritive Qualität pflanzlicher Produkte ist allerdings durch Fettsäurezusammensetzung vor allem für die Ernährung von marinen Fischarten eingeschränkt, die einen hohen Bedarf an hochungesättigten, langkettigen Fettsäuren besitzen. Demgegenüber haben aquatische Mikroalgen eine hervorragende Fettqualität, die durch hohe Mengen an hochungesättigten Fettsäuren vor allem der n-3 charakterisiert ist.

### **Mikroalgen in der Aquakultur**

Schon vor ca. 2000 Jahren wurden Mikroalgen von Menschen genutzt. Aus Aufzeichnungen ist bekannt, dass die Alge *Nostoc* in China verzehrt wurde, um Hungerszeiten zu überstehen. Aber erst seit einigen Jahrzehnten werden Mikroalgen tatsächlich kultiviert und in größerem Maßstab für verschiedene Zwecke produziert. Zum Beispiel werden Mikroalgen zur Energiegewinnung (Biogas, Biodiesel, H<sub>2</sub>-Produktion), zur CO<sub>2</sub>-Fixierung, zum Umweltmonitoring, in der

Pharmazie und Kosmetik und in der Nahrungsergänzung (Vitamine, omega-3-Fettsäuren) genutzt. Auch in der Diskussion um alternative Proteinquellen für die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung wurden Mikroalgen genannt (Becker 2004). Die vorteilhaften Inhaltsstoffe können aber nicht nur für die menschliche Gesundheit, sondern auch für die Tier- und insbesondere die Fischgesundheit förderlich sein.

Mikroalgen enthalten hohe Anteile an Protein und sind in der Lage auch die für Menschen und Tiere essentiellen Aminosäuren zu synthetisieren (Guil-Guerrero et al. 2004). Des Weiteren enthalten Mikroalgen hohe Fettanteile und auch die besonders interessanten omega-3- und omega-6-Fettsäuren.

Die Verdaulichkeit und Verwertbarkeit von vielen Mikroalgen ist hoch, was den Einsatz von beispielsweise getrockneten Produkten zur Nahrungsergänzung bzw. Ernährung von Mensch und Tier möglich macht.

Mikroalgen werden deshalb auch in Aquakultur vermehrt genutzt. Sie haben ein hohes Potential, da sie die natürliche Nahrungsquelle für viele Tiere, wie zum Beispiel Muscheln, sind und die Basis für alle aquatischen Nahrungsketten darstellen. In der Aquakultur werden Mikroalgen zum einen während der larvalen Phase von Mollusken und Garnelen zur direkten Ernährung eingesetzt, zum anderen werden sie erfolgreich als Anreicherungs- und Aufwertungsprodukt für Lebendfüttertiere in der Fischlarvenernährung genutzt.

In ersten Studien konnten aber auch Mikroalgen erfolgreich in Trockenfuttermitteln für adulte Fische eingesetzt werden (Benemann 1992, Tartiel et al. 2008). Oft dienen Mikroalgen der Färbung des Fleisches (meist Salmoniden). Vor allem aber auch die hohen Anteile der für marine Fische essentiellen, mehrfach ungesättigten Fettsäuren, wie der Docosahexaensäure (DHA, 22:6n-3) und der Eicosapentaensäure (EPA, 20:5n-3), charakterisieren marine Mikroalgen als vielversprechende Alternativen zu Fischöl, welches bisher als Hauptlieferant der essentiellen Fettsäuren eingesetzt wurde. Neben günstigen Fettsäure- und Nährstoffgehalten, müssen Mikroalgen zur erfolgreichen Nutzung in der Aquakultur aber auch die korrekte Zellgröße und -form aufweisen und nicht-toxisch, sowie leicht kultivierbar sein. Die am häufigsten genutzten Mikroalgenarten sind *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Skeletonema* und *Thalassiosira* (Apt and Behrens 1999, Muller-Feuga 2000). Sie alle erfüllen wichtige Kriterien für die effektive Anwendung in der Aquakultur. Dennoch besitzen die meisten der häufig genutzten Mikroalgen nur eine der beiden, für Fische essentiellen Fettsäuren, DHA oder EPA (Volkman et al. 1989). Im Gegensatz dazu zeichnet sich die marine Alge *Pavlova* durch hohe Fettsäuregehalte aus und ist in der Lage besonders DHA und EPA in größeren Mengen zu synthetisieren (Volkman et al. 1991, Carvalho et al. 2006). Trotzdem kann das Potential von *Pavlova* bisher kaum ausgeschöpft

werden, da es noch nicht möglich war diese Alge in großtechnischem Maßstab zu kultivieren. Grund hierfür ist die hohe Sensibilität dieser Alge gegenüber Scherkräften und hohen Temperaturen ( $<28^{\circ}\text{C}$ ), die bei den Produktionsverfahren auftreten. Aufgrund unzureichender Kenntnisse der physiologischen Umweltansprüche und -toleranzen ist die Kultivierung dieser Art schwierig und wirtschaftlich noch nicht darstellbar. Die bisher zu *Pavlova* verfügbaren Erkenntnisse beschränken sich im Wesentlichen auf grundlagenorientierte Fragestellungen zur Kultivierung im Labor, Fettsäurezusammensetzung und morphologischen Charakterisierung. Aspekte, die für die Realisierung einer industriellen Produktion (kostengünstiges Medium, Temperatur- und Lichtschwankungen) und Produktentwicklung (scherkraftarme Erntemethode, Haltbarkeit des Endproduktes) entscheidend sind, wurden bisher gar nicht oder nur sehr unzureichend untersucht. Neben den bisher relativ hohen Produktionskosten ist auch die eingeschränkte Haltbarkeit der frischen Mikroalgen ein zentrales Problem bei der wirtschaftlichen Nutzung. Die Haltbarkeit variiert stark in Abhängigkeit der verwendeten Mikroalgenarten, Aufzuchtbedingungen und Ernteverfahren. Während Algen wie z.B. *Nannochloropsis* 3 Monate gekühlt haltbar sind, begrenzt sich die Haltbarkeit von *Pavlova* auf 3-4 Wochen.

In dem laufenden Projekt, welches unter der Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) von den Projektpartnern, Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH (GMA), BlueBioTech (BBT) und dem Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ), durchgeführt wird, soll vor allem die Anwendbarkeit von *Pavlova* als Produkt im Vordergrund stehen. Ziel ist es, *Pavlova*-Algen als Futtermittel für Lebendfutterorganismen, für marine Fischlarven und längerfristig auch als Alternative zu Fischöl für adulte Fische zu entwickeln und anzuwenden.

### **Lebendfutterkultivierung**

Eine der wichtigsten Lebendfutterorganismen in der Larvenaufzucht sind marine Rotatorien (v.a. *Brachionus plicatilis*). In den späten 1960er Jahren wurden die sogenannten Rädertierchen in Japan als geeignetes Erstfutter für marine Fischlarven entdeckt und sind seitdem in der Fischeaufzucht unentbehrlich. Der Ertrag vieler kommerzieller mariner Fischfarmen beruht auf der erfolgreichen Produktion dieser Organismen. Aber obwohl es möglich ist, Rotatorien in großen Mengen von guter Qualität zu produzieren, kann es zu unvorhersehbaren Kulturzusammenbrüchen und Stagnation im Kulturwachstum kommen. Oftmals sind die Gründe hierfür unklar. Teilweise sind schlechte Kulturhygiene oder auch unpassende Nahrung als Erklärung zu nennen. Üblicherweise werden Rotatorien, meist aus Kostengründen, mit Bäckerhefe kultiviert und obwohl so



über einige Wochen wachsende Kulturen gehalten werden können (Lubzens et al. 1995), sind diese oft instabil und können kurzerhand zusammenbrechen. Außerdem kann die Hefe den Rotatorien keine wichtigen Nährstoffe liefern, die v.a. bei der späteren Verfütterung an die Fischlarven notwendig sind.

Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, werden Mikroalgen herangezogen, um entweder in Kombination mit Hefe, oder alleine als Kultivierungsfuttermittel zu dienen. In einem Experiment wurden verschiedene *Pavlova*-Produkte (*Pavlova*-Frischkultur, *Pavlova*-Konzentrat, gefrorenes *Pavlova*-Konzentrat und gefriergetrocknetes *Pavlova*-Pulver) über einen Zeitraum von 2 Wochen an Rädertierchen verfüttert und mit *Nannochloropsis*-Konzentrat verglichen. Die spezifische Wachstumsrate (SGR) nach 2 Wochen zeigt, dass alle *Pavlova*-Gruppen, bis auf die *Pavlova*-Pulver-Gruppe, sich nicht signifikant von der *Nannochloropsis*-Gruppe unterscheiden und somit für die Rotatorien-Kultivierung geeignet scheinen (Tabelle 1). Nur das *Pavlova*-Pulver ist weniger gut geeignet, da sich die Partikel schlecht mit dem Kulturwasser mischen lassen und schneller absinken und somit nur für kurze Zeit den Rädertierchen in der Wassersäule als Futter zur Verfügung stehen. Weiterhin zeichnet sich das gefrorene *Pavlova*-Konzentrat durch die gute Lagerbarkeit aus, im Gegensatz zu dem gekühlt gelagerten Konzentrat, welches schnell (nach ca. 1Woche) an Qualität verliert.

Tabelle 1: Spezifische Wachstumsrate (Mittelwert±Standardabweichung, n=5) der Rädertierchenkulturen nach 2-wöchiger Fütterung mit *Nannochloropsis* sp. Konzentrat, *Pavlova* vir. Konzentrat, *Pavlova* vir. Frischkultur, *Pavlova* vir. gefrorenes Konzentrat und *Pavlova* vir. gefriergetrocknetes Pulver.

|                                     | SGR                       |
|-------------------------------------|---------------------------|
| <i>Nanno</i> .sp. Konz.             | 0.07±0.014 <sup>a</sup>   |
| <i>P.vir.</i> Konz.                 | 0.06±0.027 <sup>a,b</sup> |
| <i>P.vir.</i> Frisch.               | 0.04±0.031 <sup>a,b</sup> |
| <i>P.vir.</i> gefrorenes Konzentrat | 0.09±0.031 <sup>a</sup>   |
| <i>P.vir.</i> .Pulver               | 0.01±0.022 <sup>b</sup>   |

## Larvenernährung

Die Aufzucht und Fütterung der Fischlarven ist die kritischste Phase in der Produktion mariner Fische. Durch die sehr geringe Körpergröße, die kleine Maul-

spalte und den noch nicht voll entwickelten Verdauungstrakt der Larven werden sehr spezielle Anforderungen an die Nahrung gestellt. Auch die immensen Wachstumsraten der Fischlarven erfordern die Aufnahme großer Mengen an Nährstoffen. Kabeljaularven wachsen zum Beispiel bis zu 30% pro Tag (Otterlei et al. 1999) und bei Larven des Afrikanischen Wels wurden sogar Wachstumsraten von bis zu 100% gemessen (Conceição et al. 1998). Im natürlichen Lebensraum nehmen marine Fischlarven bewegliches Zooplankton auf, welches auch durch die Aufnahme von anderen Organismen (u.a. Mikroalgen) die geeigneten Nährstoffe liefern kann. Viele marine Fischlarven nehmen nur sehr schlecht bzw. kein inertes Trockenfutter an. Dadurch ist es also notwendig, die Larven auch in der Aquakultur mit Lebendfutter zu versorgen (Bengston 2003). Die in der Fischlarvenaufzucht am häufigsten genutzten Lebendfutterorganismen, Rotatorien und Artemien, bringen leider nicht die nötigen Nährstoffe mit, weshalb es notwendig ist, sie mit diesen Stoffen anzureichern. Besonders wichtig scheinen hierbei die Lipide und v.a. die essentiellen Fettsäuren zu sein, die einen starken Einfluss auf das Wachstum und die Überlebensraten der Larven haben (Izquierdo et al. 2000). Zu diesem Zweck werden häufig Mikroalgenmischungen als Anreicherung für die Lebendfüttertiere genutzt, um den Nährstoff- und v.a. Fettsäurebedarf der Larven zu decken, da bisher keine Alge alle Ansprüche erfüllen konnte.

Vor diesem Hintergrund wurde die Mikroalge *Pavlova* als Anreicherungsprodukt für Rotatorien und anschließend Artemien in einem sechswöchigen Versuch zur Ernährung von Kabeljaularven verwendet. Zum Vergleich wurden auch die Mikroalge *Nannochloropsis* und das kommerzielle Anreicherungsprodukt „Multigain®“ (BioMar, Dänemark) getestet. Nach 34 Tagen wurden alle Versuchsgruppen erfolgreich an Trockenfuttermittel („Gemma micro®“, Skretting, Norwegen) gewöhnt. Erste Ergebnisse zum Wachstum der Fischlarven in Abhängigkeit der unterschiedlichen Anreicherungsprodukte konnten zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen dem kommerziellen Produkt und der Alge *Pavlova* gibt (Abbildung 4). Nur die Alge *Nannochloropsis* bewirkte ein deutlich schlechteres Wachstum, höchstwahrscheinlich aufgrund des unzureichenden Fettsäureangebots, da diese Alge zwar große Mengen an EPA enthält, dafür aber kein DHA (Patil et al. 2007). Demnach scheint die Alge *Pavlova* als Anreicherungsprodukt geeignet.

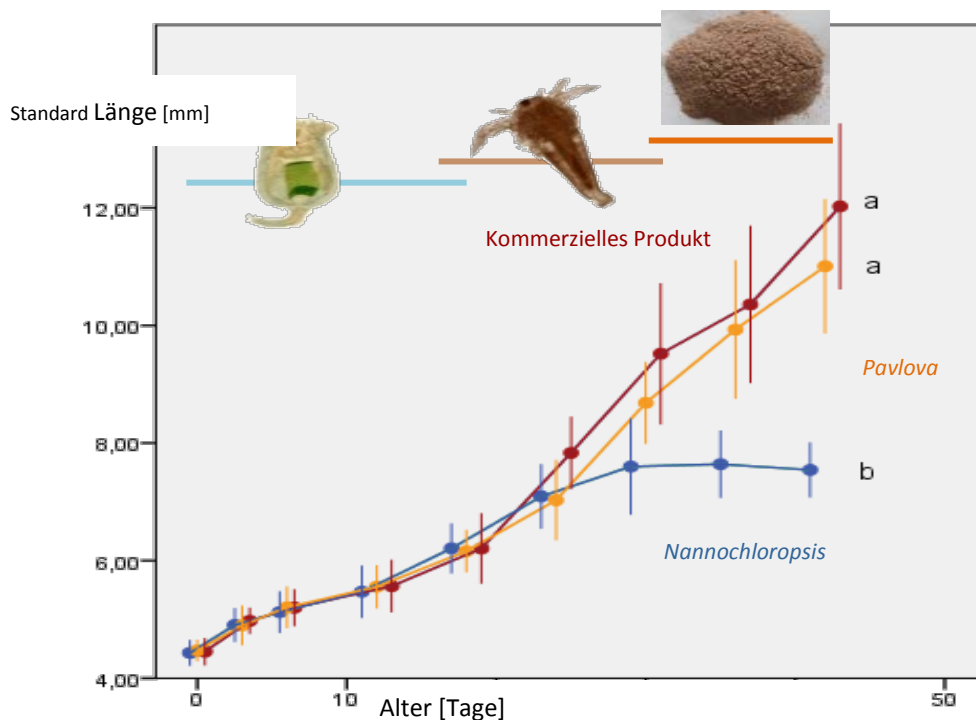


Abbildung 4: Wachstum der 3 Versuchsgruppen (Anreicherung mit einem kommerziellen Produkt, *Pavlova* und *Nannochloropsis*, je Gruppe n=3) über den Versuchszeitraum von 42 Tagen.

### Mikroalgen im Fischfutter

Ein weiterer Verwendungszweck für Mikroalgen ist der Einsatz als alternative Nährstoffquelle in Trockenfuttermitteln für adulte Fische. Hierbei werden vor allem Fischmehl oder Fischöl im Fischfutter durch Algenprodukte ersetzt. Tartiel et al. (2008) und Walker and Berlinsky (2011) zeigten zum Beispiel, dass *Chlorella*- und *Scenedesmus*- Algen im Futter für Tilapien und *Nannochloropsis* und *Isochrysis* im Futter für Kabeljau erfolgreich Anteile des Fischmehls ersetzen konnten.

Als Fischölersatz wurden bisher vor allem verschiedene Pflanzenöle, wie Raps-, Leinsamen- oder Sojaöl, getestet und konnten bis zu einem Austausch von 50-65 % des Fischöls als geeignet für marine Fischarten eingestuft werden (Bell et al. 2003, Figueiredo-Silva et al. 2005, Mourente and Bell 2006). Höhere Austauschraten sind aufgrund des Fehlens der hochungesättigten Fettsäuren EPA und DHA in der Ernährung von marine Fischarten nicht möglich. Zudem können Faktoren wie antinutritive Stoffe, ein unausgewogenes Fettsäureverhältnis, Veränderung im Geschmack und eine schlechte Verdaulichkeit die Anwendbar-

keit von pflanzlichen Ölquellen einschränken (Regost et al. 2003). Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene Futtermittel für junge Wolfsbarsche hergestellt, in denen 0%, 50% und 100% des Fischöls durch *Pavlova* und *Nannochloropsis* ausgetauscht wurden. Im Basalfuttermittel selbst wurden schon 60% des Gesamtfettanteils aus pflanzlichen Ölquellen sichergestellt, um so ein kommerzielles Wolfsbarschfutter nachzustellen. Die Ergebnisse zeigten, dass alle Algenfuttermittel geeignet waren. Das 100%-*Pavlova*-Futtermittel konnte sogar ein signifikant besseres Wachstum der Fische als das Basalfuttermittel erzielen (Abbildung 5).

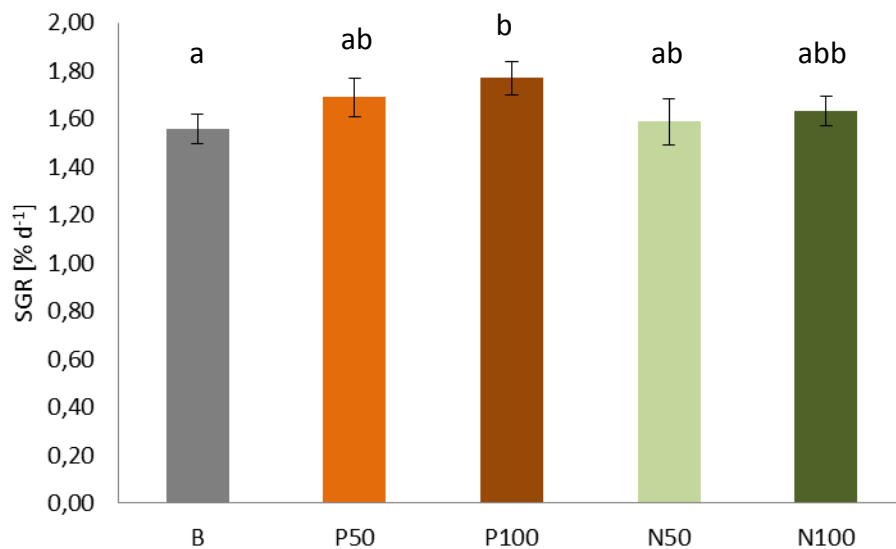


Abbildung 5: Spezifische Wachstumsrate der Wolfsbarsche (30 Fische je Gruppe, n=3) in Abhängigkeit der Testfuttermittel (B=Basalfuttermittel, P50= 50% Fischölaustausch durch *Pavlova*, P100=100% Fischölaustausch durch *Pavlova*, ebenso N50 und N100: Austausch durch *Nannochloropsis*), im Versuchszeitraum von 8 Wochen.

Der positive Wachstumsverlauf der Wolfsbarschgruppen, die die Algenfuttermittel erhalten hatten, sind wohl auf das geeignete Fettsäuremuster der Algenprodukte, vor allem der *Pavlova*-Alge, zurückzuführen. Die Futteraufnahme aller Testgruppen war nicht signifikant unterschiedlich, sodass kein Hinweis auf antinutritive Stoffe der Algenprodukte gegeben ist. Im Gegenteil war die Futteraufnahme der 100%-*Pavlova*-Gruppe sogar leicht erhöht.

Die Algenprodukte, vor allem die *Pavlova*-Alge, scheinen also sehr gut als Fischölersatz geeignet zu sein. Weitere Fettsäureanalysen werden Hinweise darauf liefern, wie die Futtermittel die Fettsäurezusammensetzung der Fischkörper beeinflussen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Mikroalge *Pavlova* durchaus positive Ergebnisse in allen getesteten Anwendungsbereichen liefern konnte. Eine erfolgreiche und kostengünstige Produktion von *Pavlova* könnte einen

Mehrwert für die marine Fischproduktion darstellen und gleichzeitig zu einer Entlastung ökologischer Ressourcen beitragen.

## Literatur

- Apt, K. E. and P. W. Behrens. 1999. Commercial developments in microalgal biotechnology. *Journal of Phycology* **35**: 215-226
- Becker, W. 2004. Microalgae in human and animal nutrition. Pages 312-351 in A. Richmond, editor. *Handbook of microalgal culture*. Blackwell, Oxford
- Bell, J. G., F. McGhee, P. J. Campbell, and J. R. Sargent. 2003. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil “wash out”. *Aquaculture* **218**:515-528.
- Benemann, J. R. 1992. Microalgae aquaculture feeds. *Journal of Applied Phycology* **4** 233-245.
- Bengston, D. A. 2003. Status of marine aquaculture in relation of live prey: past, present and future. Blackwell Science Ltd.
- Carvalho, A. P., I. Pontes, H. F. Gaspar, and X. Malcata. 2006. Metabolic relationships between macro- and micronutrients, and the eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid contents of *Pavlova lutheri*. *Enzyme and Microbial Technology* **38**:358-366.
- Conceição, L. E. C., Y. Dersjant-Li, and J. A. J. Verreth. 1998. Cost of growth in larval and juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to growth rate, food intake and oxygen consumption. *Aquaculture* **161**:95-106.
- FAO. 2005. Fisheries and Aquaculture topics.in F. technology, editor. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online].
- Figueiredo-Silva, A., E. Rocha, J. Dias, P. Silva, P. Rema, E. Gomes, and L. M. P. Valente. 2005. Partial replacement of fish oil by soybean oil on lipid distribution and liver histology in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquaculture Nutrition* **11**:147-155.
- Guil-Guerrero, J. L., R. Navarro-Juárez, J. C. López-Martínez, P. Campra-Madrid, and M. M. Reboloso-Fuentes. 2004. Functional properties of the biomass of three microalgal species. *Journal of Food Engineering* **65**:511-517.
- Izquierdo, M. S., J. Socorro, L. Arantzamendi, and C. M. Hernández-Cruz. 2000. Recent advances in lipid nutrition in fish larvae. *Fish Physiology and Biochemistry* **22**:97-107.

- Lubzens, E., O. Gibson, O. Zmora, and A. Sukenik. 1995. Potential advantages of frozen algae (*Nannochloropsis* sp.) for rotifer (*Brachionus plicatilis*) culture. *Aquaculture* **133**:295-309.
- Mourente, G. and J. G. Bell. 2006. Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) over a long term growth study: Effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Comp. Biochem. Physiol. B*: **145**:389-399.
- Muller-Feuga, A. 2000. The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology* **12**:527-534.
- Otterlei, E., G. Nyhammer, A. Folkvord, and S. O. Stefansson. 1999. Temperature- and size-dependent growth of larval and early juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*): a comparative study of Norwegian coastal cod and northeast Arctic cod. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **56**:2099-2111.
- Patil, V., T. Källqvist, E. Olsen, G. Vogt, and H. Gislerød. 2007. Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed. *Aquaculture International* **15**:1-9.
- Regost, C., J. Arzel, J. Robin, G. Rosenlund, and S. J. Kaushik. 2003. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): 1. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. *Aquaculture* **217**:465-482.
- Tacon, A. G. J. and A. J. Jackson. 1985. Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. Pages 119-145 in C. B. Cowey, A. Mackie, and J. Bell, editors. *Nutrition and Feeding in Fish*. Academic Press, London.
- Tartiel, M. B., E. M. Ibrahim, and M. M. Zeinhom. 2008. Partial replacement of fish meal with dried microalgae (*Chlorella* spp. and *Scenedesmus* spp.) in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. Pages 801-811 in 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture.
- Volkman, J. K., S. W. Jeffrey, P. D. Nichols, G. I. Rogers, and C. D. Garland. 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **128**:219-240.
- Volkman, J. K., G. A. Dunstan, S. W. Jeffrey, and P. S. Kearney. 1991. Fatty acids from microalgae of the genus Pavlova. *Phytochemistry* **30**:1855-1859.
- Walker, A. B. and D. L. Berlinsky. 2011. Effects of Partial Replacement of Fish Meal Protein by Microalgae on Growth, Feed Intake, and Body

Composition of Atlantic Cod. North American Journal of Aquaculture  
73:76-83.

## Wie nachhaltig sind die gesundheitlichen Wirkungen kalorischer Restriktion?

Kathrin Pallauf, Katrin Giller, Patricia Hübbe, Gerald Rimbach

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

### Einleitung:

In Modellorganismen konnte gezeigt werden, dass eine Reduzierung der Nahrungsaufnahme um 10-40% (CR - aus dem Englischen „calorie restriction“) bei ausreichender Zufuhr von Mikronährstoffen und essentiellen Aminosäuren zu einer Verlängerung der Lebensspanne führt. Interessanterweise beobachtet man diesen Effekt sowohl bei niedrigen Eukaryonten wie Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*) als auch bei Nematoden (*Caenorhabditis elegans*) und Fliegen (*Drosophila melanogaster*) sowie bei Mäusen (*Mus musculus*) und Ratten (*Rattus norvegicus*). Bei Primaten einschließlich Menschen gibt es ebenfalls Hinweise darauf, dass eine Kalorienreduktion vorteilhaft für die Gesundheit sein könnte. Während in einer Studie mit Rhesusaffen (*Macaca mulatta*) sogar lebensverlängernde Effekte einer CR beschrieben wurden (Colman et al., 2009), konnte auch in einer weiteren Studie mit dieser Primatenart ein positiver Effekt auf die Gesundheit festgestellt werden (Mattison et al., 2012). Ähnlich wie bei Menschen, die ihre Nahrungsaufnahme einschränken, sanken die Blutfettwerte und die Insulinsensitivität verbesserte sich, außerdem traten altersbedingte Erkrankungen später im Leben auf. Im Gegensatz zu den genannten Modellorganismen, gibt es keine Studien, die eine lebenslange CR beim Menschen beschreiben. Allerdings scheint es aufgrund von Studien wie der Biosphäre 2 Studie, bei der die Studienteilnehmer durch unzureichende Nahrungsproduktion in einer nachgebauten Biosphäre zwei Jahre lang eine CR durchführten (Walford et al., 2002) oder aufgrund anderer Humanstudien, bei denen sich die Studienteilnehmer ebenfalls zeitlich begrenzt kalorisch restriktiv ernährten (Velthuis-te Wierik et al., 1994), wahrscheinlich, dass auch Menschen gesundheitlich von einer CR profitieren könnten.

Es werden verschiedene Mechanismen diskutiert, durch die CR verlangsamen in den Alterungsprozess eingreifen könnte. Oxidativ bedingte Schäden sind in älteren Organismen vermehrt zu beobachten und CR scheint vor oxidativem Stress zu schützen (Muller et al., 2007). Dies geschieht anscheinend durch eine anfängliche geringe Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS aus dem



Englischen „reactive oxygen species“), welche antioxidative Mechanismen induzieren, was wiederum vor Schäden durch ROS schützt. Dass eine niedrige Dosis eines Stoffes die gegensätzliche Wirkung im Vergleich zu einer hohen Dosis desselben Stoffes zeigt, ist als Hormesis Effekt beschrieben worden. Im Falle einer geringen Menge an ROS-produzierenden CR ist es so, dass eine kleine Menge dieses Stimulus, den Organismus durch die Aktivierung von Schutzmechanismen vor Schäden durch größere Mengen ROS schützt (Mattson, 2008). Diese protektiven Mechanismen beinhalten die Transkription von Genen, welche für Proteine kodieren, die anti-oxidativ wirken und zur Ausscheidung und Entgiftung von Fremdstoffen führen. Ein Transkriptionsfaktor, der solche Zielgene aktiviert und durch CR angeregt wird, ist Nrf2 (nuclear factor-erythroid 2) (Martin-Montalvo et al., 2011). Auf der anderen Seite wird die Transkription anderer Gene wie z.B. pro-entzündlicher Zytokine durch CR gehemmt (Jung et al., 2009) und es kommt generell zu einer Verschiebung des Transkriptionsmusters.

Anti-entzündliche Effekte spielen eventuell auch bei der Verbesserung der Insulinsensitivität durch CR eine Rolle (Calle und Fernandez, 2012). Außerdem hemmt CR den Insulin Rezeptor und den Rezeptor für insulinähnliche Hormone, welche Wachstum und Proliferation fördern. Teil der untergeordneten Signalkaskaden, die diese anabolen Vorgänge steuern, ist die Proteinkinase mTOR (mammalian target of rapamycin). In ihrem Proteinkomplex mTOR Komplex 1 hemmt die Kinase einen zellulären Abbau- und Wiederverwertungsprozess für Proteine und Organellen, Autophagie. Das Wort „Autophagie“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet „selbst essen“. CR inhibiert den mTOR-Komplex, wodurch seine hemmende Wirkung auf Autophagie aufgehoben wird (Yang und Klionsky, 2010). Dadurch degradiert diese Spezialform des lysosomalen Abbaus zelleigenes Material und sorgt sowohl für eine Versorgung der Zelle in Zeiten begrenzter Nahrungsaufnahme als auch für die Entsorgung von nicht mehr länger benötigten und schädlichen Zellbestandteilen (Cuervo, 2008). Solche schädlichen Zellbestandteile können Proteine oder Organellen wie z.B. alte Mitochondrien sein, welche eine Quelle für ROS sind. Während Mitochondrien die Energie für zelluläre Prozesse in Form von ATP aus durch die Nahrung zugefügten Ausgangsstoffen herstellen, können insbesondere bei defekten Mitochondrien größere Mengen ROS als toxisches Nebenprodukt entstehen. Diese ROS fördern Entzündung und können zum Zelltod führen, was durch autophagischen Abbau der alten Mitochondrien verhindert werden kann (Yen und Klionsky, 2008). Interessanterweise hat man durch Versuche mit Nematoden gezeigt, dass Autophagie teilweise notwendig für den lebensverlängernden Effekt von CR ist (Hansen et al., 2008)

Aufgrund der Studienlage könnte es eventuell vorteilhaft für die Verlangsamung des Alterungsprozesses sein, die Kalorienzufuhr auch bei Menschen zu beschränken. Allerdings ernähren sich die wenigsten Menschen Zeit ihres Lebens kalorisch restriktiv. Viel häufiger kommt es vor, dass nach einer kalorienreduzierten Diät die Energieaufnahme wieder steigt. Uns interessierte, ob und wie lange die positiven Effekte einer CR über die Dauer der restriktiven Phase andauern.

#### Tierstudie und Ergebnisse:

Um eine erhöhte Nahrungsaufnahme nach einer CR-Phase im Tiermodell experimentell nachzustellen, haben wir im Rahmen des BMBF-Projektes „Epifood“ bei Labormäusen im Anschluss an eine Langzeit-CR (6 Monate) freien Zugang zu Futter folgen lassen und die ehemals CR ernährten Tiere mit dauerhaft *ad-libitum* gefütterten Tieren verglichen. Während der CR bekamen die Mäuse 75% der Energie der Kontrollgruppe, die *ad-libitum* ernährt wurde. Wir untersuchten die Organe der Tiere nach 6 Monaten CR sowie nach 2 Wochen *re-feeding* und nach 6 Monaten *re-feeding*. Als Kontrolle dienten hierbei die gleich alten *ad-libitum* gefütterten Tiere. Wie zu erwarten war, waren die CR Mäuse schlanker als die *ad-libitum* Tiere. Die CR Tiere nahmen jedoch sehr schnell an Gewicht zu, sobald sie *ad-libitum* gefüttert wurden und glichen sich nach 2 Wochen fast und nach 6 Monaten komplett an die durchgängig *ad-libitum* gefütterten Tiere an.

Des Weiteren interessierte uns, inwiefern die CR und das *re-feeding* die Transkriptionsmuster veränderten. Wie wir mittels Genchipanalysen bestimmen konnten, waren nach sechs Monaten CR im Vergleich zur *ad-libitum* gefütterten Gruppe etwa 220 Gene in der Leber der Mäuse hochreguliert und 180 Gene runterreguliert, während zwei Wochen *re-feeding* dafür sorgten, dass von diesen Genen nur etwa 10 weiterhin reguliert waren. Nach 6 Monaten *re-feeding* fanden wir bei den Genchipanalysen keinerlei transkriptionellen *Overlap* mehr.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt und von uns reproduziert, wird der Transkriptionsfaktor Nrf2 durch CR induziert. Da die Zielgene von Nrf2 scheinbar zu der positiven gesundheitlichen Wirkung von CR beitragen, wollten wir die Expression von 4 dieser Gene mittels quantitativer reverser Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion untersuchen. Bei deren Genprodukten handelt es sich um die Glutathionperoxidase 4, welche als antioxidatives Enzym Hydroperoxide reduziert, die Glutathion-S-Transferase a2, die als Detoxifizierungsenzym in Phase-II-Reaktionen Glutathion an Xenobiotika bindet, Metallothionin, welches aufgrund seiner metallbindenden Eigenschaften antioxidativ wirkt, und die NAD(P)H Chinonoxidoreductase 1, welche die Bildung von Radikalen durch die Reduktion von Chinonen verhindert. Mittels dieser Analyse sahen

wir, dass alle 4 Gene nach 6 Monaten CR stark reguliert waren, was allerdings schon nach zwei Wochen nicht mehr eindeutig nachweisbar und nach 6 Monaten nicht mehr der Fall war.

Ähnliche Beobachtungen machten wir beim Grad der Autophagieinduktion. Mittels Western Blot maßen wir die Aktivität des Autophagiemarkers LC3 in der Leber und stellten fest, dass nach 6 Monaten CR eine höhere Aktivität des Autophagiemarkers als in *ad-libitum* Tieren nachzuweisen war. Jedoch war nach zwei Wochen *re-feeding* kaum und nach 6 Monaten keine erhöhte autophagische Aktivität im Vergleich zu niemals restriktiv gefütterten Tieren nachweisbar.

#### Schlussfolgerung:

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die meisten der CR-induzierten Effekte innerhalb von zwei Wochen nach Beendigung einer CR stark nachlassen. Nach 6 Monaten *re-feeding* unterschieden sich keine der von uns gemessenen Parameter zwischen ehemals restriktiv und lebenslang *ad-libitum* gefütterten Mäusen (Giller et al., 2013). Daher muss man in Erwägung ziehen, dass kurzzeitige Diäten möglicherweise nicht die Vorteile bringen, die in CR Studien beschrieben werden.

#### Literatur:

Calle, M.C. und Fernandez, M.L. (2012). Inflammation and type 2 diabetes. *Diabetes & Metabolism* 38, 183-191.

Colman, R.J., Anderson, R.M., Johnson, S.C., Kastman, E.K., Kosmatka, K.J., Beasley, T.M., Allison, D.B., Cruzen, C., Simmons, H.A., Kemnitz, J.W., et al. (2009). Caloric restriction delays disease onset and mortality in rhesus monkeys. *Science* 325, 201-204.

Cuervo, A.M. (2008). Autophagy and aging: keeping that old broom working. *Trends in Genetics* 24, 604-612.

Giller, K., Huebbe, P., Hennig, S., Dose, J., Pallauf, K., Doering, F. und Rimbach, G. (2013). Beneficial effects of a 6-month dietary restriction are time-dependently abolished within 2 weeks or 6 months of refeeding-genome-wide transcriptome analysis in mouse liver. *Free Radical Biology & Medicine* 61C, 170-178.

Hansen, M., Chandra, A., Mitic, L.L., Onken, B., Driscoll, M. und Kenyon, C. (2008). A role for autophagy in the extension of lifespan by dietary restriction in *C. elegans*. *PLoS Genetics* 4, e24.

Jung, K.J., Lee, E.K., Kim, J.Y., Zou, Y., Sung, B., Heo, H.S., Kim, M.K., Lee, J., Kim, N.D., Yu, B.P., et al. (2009). Effect of short term calorie restriction on

pro-inflammatory NF- $\kappa$ B and AP-1 in aged rat kidney. *Inflammation Research* 58, 143-150.

Martin-Montalvo, A., Villalba, J.M., Navas, P. und de Cabo, R. (2011). NRF2, cancer and calorie restriction. *Oncogene* 30, 505-520.

Mattison, J.A., Roth, G.S., Beasley, T.M., Tilmont, E.M., Handy, A.M., Herbert, R.L., Longo, D.L., Allison, D.B., Young, J.E., Bryant, M., et al. (2012). Impact of caloric restriction on health and survival in rhesus monkeys from the NIA study. *Nature* 489, 318-321.

Mattson, M.P. (2008). Hormesis defined. *Ageing Research Reviews* 7, 1-7.

Muller, F.L., Lustgarten, M.S., Jang, Y., Richardson, A. und Van Remmen, H. (2007). Trends in oxidative aging theories. *Free Radical Biology & Medicine* 43, 477-503.

Velthuis-te Wierik, E.J., van den Berg, H., Schaafsma, G., Hendriks, H.F. und Brouwer, A. (1994). Energy restriction, a useful intervention to retard human ageing? Results of a feasibility study. *European Journal of Clinical Nutrition* 48, 138-148.

Walford, R.L., Mock, D., Verdery, R. und MacCallum, T. (2002). Calorie restriction in biosphere 2: alterations in physiologic, hematologic, hormonal, and biochemical parameters in humans restricted for a 2-year period. *The Journal of Gerontology Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 57, B211-224.

Yang, Z. und Klionsky, D.J. (2010). Mammalian autophagy: core molecular machinery and signaling regulation. *Current Opinion in Cell Biology* 22, 124-131.

Yen, W.L. und Klionsky, D.J. (2008). How to live long and prosper: autophagy, mitochondria, and aging. *Physiology (Bethesda)* 23, 248-262.

## **Gesundheitliche Bewertung von Obst und Gemüse – aktuelle Befunde**

Anika Wagner

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

Obst und Gemüse sind Bestandteile unserer täglichen Nahrung und stellen eine wichtige Quelle für Vitamine und Mineralstoffe sowie für nicht-nutritive Stoffe, wie beispielsweise Ballaststoffe und sekundäre Pflanzenstoffe, dar. Insbesondere Gemüse weist dabei eine niedrige Energiedichte auf. Im Jahr 2012 lag in Deutschland der Verbrauch von Obst bei 69 kg und Gemüse bei 96 kg pro Kopf und Jahr (BMELV, 2013). Allerdings werden die Empfehlungen zur Obst- und Gemüsezufuhr der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. von  $\geq 250$  g Obst und  $\geq 400$  g Gemüse dabei in der Bevölkerung nicht erreicht. Derzeit liegt die Aufnahme von Obst und Gemüse bei ca. 300 g pro Tag (NVS II, 2008), empfohlen werden hingegen für Erwachsene 600 g/Tag (entsprechend 5 Portionen Obst und Gemüse).

Epidemiologische Studien zeigen einen inversen Zusammenhang zwischen der Entstehung verschiedener chronischer Erkrankungen und einem gesteigerten Obst- und Gemüsekonsum. Die Datenlage bezüglich einer negativen Assoziation des Obst- und Gemüsekonsums und der Entstehung von Bluthochdruck, koronaren Herzerkrankungen und Schlaganfall ist überzeugend. Auch anderen chronischen Erkrankungen wie beispielsweise Krebs, rheumatoider Arthritis, Asthma und chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen können möglicherweise durch einen gesteigerten Obst- und Gemüsekonsum teilweise vorgebeugt werden (BOEING et al., 2012). In einer aktuellen Untersuchung an 2332 finnischen Männern der Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor Study beobachteten MURSU und Mitarbeiter (2014) darüber hinaus ein signifikant verringertes Risiko für Diabetes Typ 2, wenn die Probanden mehr als ca. 60 g Beeren pro Tag verzehrten.

Sekundäre Pflanzenstoffe dienen der Pflanze als Schutz vor Fressfeinden, Mikroben und UV-Strahlung. Es handelt sich um pharmakologisch wirksame, chemisch sehr unterschiedliche Verbindungen zu denen auch die Glucosinolate gezählt werden. Glucosinolate kommen vorwiegend in Kreuzblütengewächsen (*Brassicaceae*) vor und sind in der Vakuole der Pflanzenzelle lokalisiert. Durch

mechanische Einwirkung (z. B. Schneiden, Kauen) wird die Pflanzenzelle zerstört und das Glucosinolat kommt mit der in Myrosinzellen lokalisierten Myrosinase in Kontakt. Das Glucosinolat wird hydrolysiert und es entstehen – je nach den vorliegenden Reaktionsbedingungen (z. B. pH-Wert) –Isothiocyanate, Thiocyanate oder Nitrile (Abbildung 1).

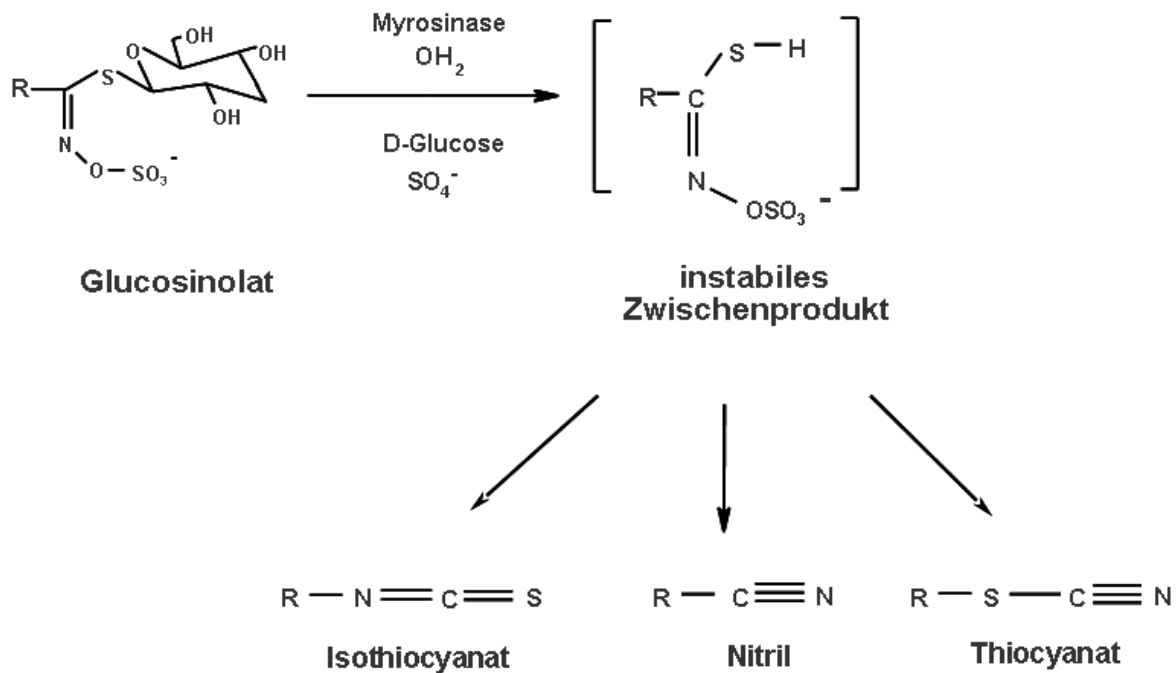


Abbildung 1: Reaktionsschema der Glucosinolat-Hydrolyse (nach FAHEY et al. 2001)

Glucosinolate und vor allem deren Abbauprodukte, die Isothiocyanate, scheinen krebspräventive (chemoprotektive) und anti-inflammatorische Eigenschaften zu vermitteln. Während der redox-sensitive Transkriptionsfaktor Nrf2 eine entscheidende Rolle in der Chemoprävention spielt, ist der Transkriptionsfaktor NFκB ein zentraler Regulator der Entzündungsreaktion im Organismus. In der Literatur gibt es Hinweise, dass Isothiocyanate Nrf2 induzieren und NFκB hemmen.

Eigene Untersuchungen zeigten, dass die Isothiocyanate Allyl-Isothiocyanat (AITC) und Sulforaphan (SFN) in Makrophagen sowohl den Transkriptionsfaktor Nrf2 auf Proteinebene als auch die mRNA-Spiegel des Zielgens Hämoxygenase 1 induzieren. Sowohl der pro-inflammatorische Transkriptionsfaktor NFκB als auch die mRNA-Spiegel seines Zielgens Tumor-Nekrose-Faktor α wurden durch Behandlung mit AITC und SFN herunterreguliert (WAGNER et

al., 2012). Diese Beobachtungen konnten zum Teil auch im Nagetiermodell verifiziert werden: C57BL/6 Mäuse erhielten für 7 Tage entweder eine phosphatgepufferte Salzlösung (PBS) oder 25 mg SFN/kg Körpergewicht *per os*. Anschließend wurde mittels Natrium-Dextransulfat (DSS) bei den Tieren eine Darmentzündung induziert. Die mit SFN vorbehandelten Tiere wiesen, verglichen mit den Kontrolltieren, signifikant niedrigere Gewichtsverluste sowie einen signifikant schwächer ausgeprägten Disease Activity Index, ein Maß für die Schwere der Darmentzündung, auf. Dies konnte sowohl in histologischen Schnitten des Darms als auch auf Ebene der Entzündungsmarker bestätigt werden. Auf mRNA-Ebene wurde außerdem gezeigt, dass auch die mRNA-Spiegel der Nrf2-Zielgene  $\gamma$ -Glutamyl-Cysteinyl-Synthetase (Schlüsselenzym der Glutathionbiosynthese) und NADPH Quinon Oxidoreduktase 1 nach SFN-Vorbehandlung im Darm der Tiere signifikant anstiegen (WAGNER et al., 2013).

Verschiedene Studien zeigen einen inversen Zusammenhang zwischen der Inzidenz für verschiedene chronische Erkrankungen und einem gesteigerten Obst- und Gemüsekonsum. Für diese gesundheitsfördernden Eigenschaften werden u. a. sekundäre Pflanzenstoffe verantwortlich gemacht. Eigene Untersuchungen an kultivierten Makrophagen und im Labornager bestätigten sowohl auf histologischer als auch auf molekularer Ebene für Isothiocyanate eine chemoprotektive und anti-inflammatorische Wirkung.

Auf Grund der gesundheitsfördernden Wirkungen ist eine Steigerung des Obst- und Gemüseverzehrs grundsätzlich wünschenswert.

## **Literatur**

Boeing H, Bechthold A, Bub A, Ellinger S, Haller D, Kroke A, Leschik-Bonnet E, Müller MJ, Oberritter H, Schulze M, Stehle P, Watzl B (2012): Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*; 51:637-63.

### **Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 2013**

Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P (2001): The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*; 56: 5-51.

Mursu J, Virtanen JK, Tuomainen TP, Nurmi T, Voutilainen S (2014): Intake of fruit, berries, and vegetables and risk of type 2 diabetes in Finnish men: the Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor Study. *American Journal of Clinical Nutrition*; 99: 328-33.

### **Nationale Verzehrsstudie II (NVS II), 2008, Hrsg. Max-Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe.**

Wagner AE, Boesch-Saadatmandi C, Dose J, Schultheiss G, Rimbach G (2012): Anti-inflammatory potential of allyl-isothiocyanate--role of Nrf2, NF-(κ) B and microRNA-155. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*; 16: 836-43.

Wagner AE, Will O, Sturm C, Lipinski S, Rosenstiel P, Rimbach G (2013): DSS-induced acute colitis in C57BL/6 mice is mitigated by sulforaphane pre-treatment. *Journal of Nutritional Biochemistry*; 24: 2085-91.



# **Was ist ein realistisches Abnehmziel?**

## **Erwartungen an ein Online-Gewichtsreduktionsprogramm**

Steffi Dierks  
Martin Schellhorn

Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre

### **Einleitung**

Gewichtsreduktionsprogramme stehen dem Problem hoher Abbruchraten gegenüber. Dies betrifft sowohl ambulante als auch internetbasierte Programme. Es werden Abbrecherquoten zwischen 15-80% beobachtet (Ayyad & Andersen 2000; Hauner 2011). Dies kann eine Folge großer Erwartungen an die Gewichtsziele sein. Unerfüllte Erwartungen führen zu Enttäuschungen und Unzufriedenheit über den Gewichtsverlauf, was schließlich den Abbruch der Behandlung begünstigt (Grave et al. 2005; Byrne et al. 2003). Bei einem Vergleich der in den Leitlinien empfohlenen Gewichtsreduktion von 5-10% mit den in der Literatur beschriebenen Zielen fällt eine Diskrepanz zwischen Empfehlungen und Erwartungen auf. So benennen Teilnehmer Ziele in Höhe von 11% Gewichtsabnahme als ein frustrierendes Ziel, eine Reduktion um 24% als Wunschziel und als ein Traumziel werden Reduzierungen um 38% des Körpergewichts angesehen (Foster et al. 1997; Linde et al. 2004).

Die Untersuchungen konzentrieren sich bisher auf kontrollierte klinische Studien (Baldwin et al. 2009). Es besteht Forschungsbedarf in der Übertragbarkeit auf die „reale Welt“. Denn angesichts des zu zahlenden Beitrages in einem kommerziellen Programm wird vermutet, dass die Abnehmziele in diesen Programmen höher ausfallen (Dutton et al. 2010). Daher ist das Ziel der Studie, Teilnehmer eines kommerziellen Online-Gewichtsreduktionsprogramms in Bezug auf ihre Erwartungen für eine Gewichtssenkung zu untersuchen. In diesem Zusammenhang werden Unterschiede zwischen Teilnehmern mit realistischen und unrealistischen Vorstellungen herausgestellt. Weiterhin wird untersucht, welche Prädiktoren die Wahrscheinlichkeit bestimmen, dass ein Teilnehmer moderate Ziele ausweist.

### **Datengrundlage und Methoden**

Die Basis für die im vorliegenden Beitrag vorgestellten Ergebnisse bilden die im Rahmen einer quantitativen Online-Befragung im Februar-März 2012 erho-

benen Daten. Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte durch Aufrufe auf der Homepage des Online-Gewichtsreduktionsprogramms. Insgesamt füllten 472 Personen den standardisierten Fragebogen aus. Neben der Erhebung von demografischen und gewichtsrelevanten Variablen wurden ebenso für das Abnehmen bedeutsame Verhaltensweisen (Ess- und Bewegungsverhalten) und Motive für die Gewichtsreduktion erfasst. Darüber hinaus wurden die Teilnehmer nach der Wichtigkeit der wahrgenommenen Vor- und Nachteile sowie den Grad an verspürter situativer Versuchung bei einer Gewichtsabnahme befragt.<sup>1</sup> Auf Grundlage der Empfehlungen aus den evidenzbasierten Leitlinien<sup>2</sup> zur Prävention und Therapie der Adipositas und die im Vergleich der Befragten individuellen Zielen erfolgt eine Einstufung der Teilnehmer in realistische und unrealistische Erwartungen. Die Auswertung der vorliegenden Daten wird mittels verschiedener statistischer multivariater Analyseverfahren ( $\chi^2$ -Test, ANOVA, t-Tests für unabhängige Stichproben, logistische Regression) durchgeführt.

### **Das Online-Gewichtsreduktionsprogramm**

Bei dem kommerziellen Online-Programm handelt es sich um ein kostenpflichtiges, interaktives Onlineprogramm zur Gewichtsreduzierung und -stabilisierung, das in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz angeboten wird. Schwerpunkt des Programms liegt in der Führung eines Bewegungs- und Ernährungsprotokolls, mit dem Ziel, die Sport- und Ernährungsgewohnheiten zu verbessern. Die Teilnehmer werden dabei von einem professionellen Team bestehend aus Ärzten, Ernährungswissenschaftlern und Sportwissenschaftlern unterstützt. Auf Basis von anthropometrischen Daten sowie Alter, Geschlecht und Zielgewicht wird die individuell empfohlene, tägliche Kalorienzufuhr kalkuliert. Dabei wird das von den Teilnehmern angegebene Zielgewicht von seitens des Programms überprüft und kommentiert. Die Mitglieder können auf zahlreiche Programmfunktionen zurückgreifen. Dazu zählen unter anderem eine visuelle Kalorienuhr, die einen Überblick über Ernährungsmuster gibt, das automatische Angebot von kalorienärmeren Alternativen sowie ein moderiertes Forum zu verschiedensten Inhalten (Longin et al. 2012).

### **Ergebnisse**

---

<sup>1</sup> Die Variablen „wahrgenommene Vor- und Nachteile“ sowie „situative Versuchung“ stammen aus dem Transtheoretischem Modell der Verhaltensänderung von Prochaska und DiClemente. Das Modell wurde entwickelt, um menschliches Gesundheitsverhalten zu verstehen, erklären und vorherzusagen (Prochaska & DiClemente 1982).

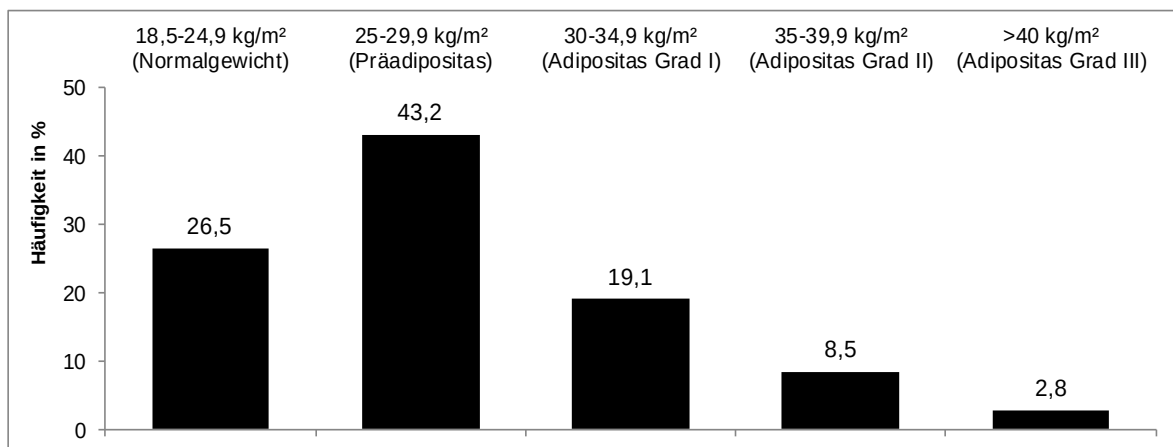
<sup>2</sup> Die evidenzbasierten Leitlinien der Deutschen Adipositas-Gesellschaft, der Deutschen Diabetes-Gesellschaft, der Deutschen Gesellschaft für Ernährung und der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin werden derzeit überarbeitet und erst voraussichtlich Ende Februar 2014 veröffentlicht.

Unter den 472 Teilnehmern sind 75,8% Frauen und 24,2% Männer. Das mittlere Alter liegt bei 45,8 ( $\pm 12,4$ ) Jahren. Tabelle 1 zeigt deskriptive Daten der Stichprobe. Zur Einschätzung der Qualität der erhobenen Daten bildet die Tabelle demografische Merkmale der Befragten im Vergleich zur allgemeinen Teilnehmerstruktur des Programms ab. Die Datenqualität gilt generell als vertretbar.

**Tabelle 2: Struktur der Stichprobe im Vergleich zur Struktur des Online-Programms (n=472)**

|                                                  | <b>Struktur der Stichprobe</b> | <b>Struktur im Programm</b> |
|--------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| <b>Anteil Frauen (%)</b>                         | 75,8                           | 59,6                        |
| <b>BMI bei Programmbeginn (kg/m<sup>2</sup>)</b> | 29,9 $\pm$ 5,4                 | 29,1 $\pm$ 6,1              |
| <b>Anteil der Befragten (%) im Alter</b>         |                                |                             |
| zwischen 14 und 29 Jahren                        | 10,6                           | 33,5                        |
| zwischen 30 und 49 Jahren                        | 50,0                           | 41,7                        |
| zwischen 50 und 69 Jahren                        | 37,3                           | 22,4                        |
| von 70 Jahren und älter                          | 2,1                            | 2,4                         |

Die Verteilung des BMI veranschaulicht Abbildung 1. Es ist zu erkennen, dass 26,5% der Teilnehmer normalgewichtig sind. Der größte Anteil (43,2%) leidet an Präadipositas. Adipositas Grad I weisen 19,1% der Teilnehmer auf. In die BMI-Kategorie Adipositas Grad II fallen 8,5% der Stichprobe. An einer Adipositas Grad III sind 2,8% der Teilnehmer erkrankt.



**Abbildung 6: Verteilung des Body-Mass-Indexes in der Stichprobe (%) (n=472)**

Erste Ergebnisse hinsichtlich der gewünschten Gewichtsreduktion zeigen, dass die Teilnehmer eine durchschnittliche Reduktion von 15,8% ihres Körpergewichts beabsichtigen. Tabelle 2 bildet die prozentualen angestrebten Gewichtsreduzierungen in Abhängigkeit der BMI-Klassen ab. Die Ziele von 10-30% liegen deutlich über den empfohlenen Behandlungszielen von 5-10%. Mit

einer Varianzanalyse (ANOVA) wird überprüft, ob der zu erkennende ansteigende Trend über die BMI-Klassen hinweg zufällig ist. Die F-Statistik ( $F(4,467)=88,602$ ;  $p<0,000$ ) und die anschließenden Post-Hoc-Tests (Scheffé-Verfahren: Normalgewicht–Präadipositas:  $p<0,025$ ; alle weiteren BMI-Klassen:  $p<0,000$ ) bestätigen die systematische Variation der gewünschten Gewichtsreduktion in jeder BMI-Gruppe.

Auf Basis der Empfehlungen aus der leitliniengerechten Prävention und Therapie der Adipositas und im Vergleich der individuellen Erwartungen an das Programm werden die Teilnehmer in „realistische“ und „unrealistische“ Vorstellung gruppiert. In den Leitlinien werden realistische Behandlungsziele folgendermaßen definiert: Bei einem BMI im Bereich des Normalgewichts ist ausschließlich die Gewichtsstabilisierung ein sinnvolles, wissenschaftlich evaluiertes Ziel. Bei einem BMI von 25-29,9 kg/m<sup>2</sup> wird eine Reduzierung des Körpergewichts um 5% empfohlen, bei einem BMI von 30-40 kg/m<sup>2</sup> eine mäßige Reduktion um 10% (Hauner et al. 2006). Eine Gewichtssenkung dieser Größenordnung führt trotz des Nicht-Erreichens eines Normalgewichts bereits zu einer deutlichen Besserung übergewichtsbedingter Beschwerden und Störungen, z.B. Senkung des Blutdrucks und Cholesterinspiegels. Um das deutlich erhöhte Gesundheitsrisiko bei extremer Adipositas ( $\text{BMI} \geq 40\text{kg/m}^2$ ) nachhaltig zu senken, ist oft eine stärkere Reduzierung des Gewichts erforderlich. Da dies in jedem Fall in kleinen Schritten erfolgen sollte (Hauner 2002), wird für die Einteilung dieser Teilnehmer eine erste Gewichtsreduzierung von ebenfalls 10% als Empfehlung angenommen.

Aus Tabelle 2 ist der Anteil der Teilnehmer mit (un)-realistischen Vorstellungen in Bezug auf die Gewichtsreduktion in Abhängigkeit der BMI-Klassen zu entnehmen. Demnach setzen 93,4% der Teilnehmer unrealistische Erwartungen in die Behandlung. Es ist erkennbar, dass Teilnehmer mit unrealistischen Zielvorstellungen die Teilnehmer mit realistischen Abnehmzielen in jeder BMI-Klasse deutlich überragen. Lediglich in den Klassen Präadipositas und Adipositas Grad I lassen sich Teilnehmer mit moderaten Zielen vorfinden. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest zeigt einen systematischen Zusammenhang zwischen den Vorstellungen und BMI-Klassen ( $\chi^2(4)=11,216$ ;  $p<0,024$ ). Die Strenge des Zusammenhangs ist mit einem Cramer's-V-Wert<sup>3</sup> von 0,153 schwach ausgeprägt.

---

<sup>3</sup> Das  $\chi^2$ -basierte Maß Cramer's V liegt stets zwischen 0 und 1. Er kann bei beliebig großen Kreuztabellen angewandt werden (Backhaus 2011).

**Tabelle 3: Höhe der angestrebten Gewichtsreduktion (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) und Anteile der Teilnehmer mit (un)-realistischen Vorstellungen hinsichtlich einer Gewichtsabnahme, in Abhängigkeit der BMI-Kategorien (n=472)**

| BMI-Kategorien (n)         | Angestrebte Gewichtsreduktion <sup>†</sup><br>(%) | Realistische Vorstellungen <sup>‡</sup><br>(%) | Unrealistische Vorstellungen <sup>‡</sup><br>(%) |
|----------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Normalgewicht (n=82)       | 9,9 $\pm$ 4,2                                     | 0,2                                            | 17,2                                             |
| Präadipositas (n=193)      | 12,7 $\pm$ 5,3                                    | 2,3                                            | 38,6                                             |
| Adipositas Grad I (n=120)  | 18,2 $\pm$ 6,7                                    | 3,2                                            | 22,2                                             |
| Adipositas Grad II (n=54)  | 24,0 $\pm$ 7,9                                    | 0,6                                            | 10,8                                             |
| Adipositas Grad III (n=23) | 30,4 $\pm$ 11,2                                   | 0,2                                            | 4,7                                              |
| Gesamt (n=472)             | 15,8 $\pm$ 8,2                                    | 6,6                                            | 93,4                                             |

<sup>†</sup> ANOVA:  $F(4,467)=88,602$ ;  $p<0,000$ ; <sup>‡</sup>  $\chi^2$ -Test:  $\chi^2(4)=11,216$ ;  $p<0,024$

Die Vergleiche der Mittelwerte zur Identifikation von Unterschieden zwischen den Teilnehmern mit realistischen und unrealistischen Vorstellungen deuten an, dass in der Gruppe der unrealistischen Vorstellung mit 78% vorwiegend Frauen vorzufinden sind. Alters- und gewichtsspezifische Unterschiede können ebenso festgestellt werden. So sind Teilnehmer mit unrealistischen Zielen tendenziell jünger sowie zu Beginn des Programms mit 82% seltener übergewichtig. Während in der Gruppe „realistische Vorstellungen“ die Minimierung der gesundheitlichen Risiken als wesentliches Motiv für eine Gewichtsreduktion angesehen wird, werden Teilnehmer mit unrealistischen Zielen eher durch die Veränderung des Aussehens/der Attraktivität angetrieben.

Die Variable „situative Versuchung“ drückt die verspürte, subjektive Versuchung aus, in bestimmten Situationen nicht auf das Gewicht zu achten. Dabei handelt es sich um konkrete Situationen, die bei der Umsetzung einer Gewichtsabnahme hinderlich sein können, wie z.B. Essen in Gesellschaft oder beim Fernsehen. Im Vergleich zu Teilnehmern mit moderaten Zielen verspüren Teilnehmer mit überdurchschnittlichen hohen Zielen eine größere Versuchung, wenn sie sich körperlich unwohl fühlen (bei Angespanntheit, Niedergeschlagenheit). Gleichzeitig rückt für sie die Steigerung des Selbstwertgefühls/ der Anerkennung als ein wahrgenommener Vorteil einer Gewichtsabnahme stärker in den Vordergrund.

**Tabelle 4: Ergebnisse der T-Tests (Mittelwert und Standardabweichung) (n=472)**

|                                                           | Realistische Vorstellung | Unrealistische Vorstellung |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Demografische Variablen</b>                            |                          |                            |
| Geschlecht (1=Frau)***                                    | 0,52 ± 0,51              | 0,78 ± 0,42                |
| Alter (in Jahren)***                                      | 55,2 ± 12,5              | 45,2 ± 12,1                |
| Haushaltsgröße*                                           | 2,3 ± 0,75               | 2,6 ± 1,14                 |
| <b>Gewichtsabhängige Variablen</b>                        |                          |                            |
| Ziel-BMI (in kg/m²)***                                    | 29,02 ± 4,92             | 24,58 ± 3,19               |
| Übergewicht zu Programmbeginn (1=übergewichtig)***        | 0,97 ± 0,18              | 0,82 ± 0,39                |
| <b>Motive (Ränge 1-8; 1=wichtigstes Motiv)</b>            |                          |                            |
| Minimierung der gesundheitlichen Risiken***               | 2,32 ± 1,62              | 3,15 ± 1,97                |
| Veränderung des Aussehens/ der Attraktivität**            | 3,84 ± 1,83              | 3,04 ± 1,68                |
| Tragen bestimmter Kleidung                                | 4,23 ± 1,80              | 4,44 ± 1,67                |
| Stärkung des Selbstwertgefühls/ Selbstvertrauens          | 4,68 ± 1,60              | 4,56 ± 1,82                |
| Steigerung der Akzeptanz                                  | 6,97 ± 0,60              | 7,46 ± 0,91                |
| Erweiterung sozialer Kontakt                              | 7,52 ± 0,81              | 7,05 ± 0,83                |
| <b>Situative Versuchung (5=höchste Versuchung)</b>        |                          |                            |
| Versuchung bei vermehrter Verfügbarkeit von Lebensmitteln | 2,54 ± 0,84              | 2,67 ± 0,80                |
| Versuchung in Gesellschaft (sozialer Druck)               | 1,97 ± 1,10              | 2,16 ± 0,96                |
| Versuchung bei körperlichem Unwohlsein**                  | 2,15 ± 0,88              | 2,54 ± 0,94                |
| Versuchung bei Aktivitäten (z.B. Lesen, TV)               | 1,90 ± 0,64              | 1,89 ± 0,74                |
| <b>Wahrgenommene Vorteile (5=höchste Wichtigkeit)</b>     |                          |                            |
| Steigerung des Selbstwertgefühls/ der Anerkennung*        | 2,65 ± 0,84              | 2,94 ± 0,80                |
| Verbesserung der Gesundheit/ des Wohlbefindens            | 4,33 ± 0,56              | 4,25 ± 0,66                |
| <b>Wahrgenommene Nachteile (5=höchste Wichtigkeit)</b>    | 2,31 ± 0,64              | 2,46 ± 0,61                |

Signifikanz auf: \*\*\* p<0,001, \*\* p<0,05, \* p<0,1

In einem nächsten Schritt wird untersucht, welche Prädiktoren die Wahrscheinlichkeit bestimmen, dass ein Teilnehmer realistische Ziele mitbringt. Die Ergebnisse der binären logistischen Regression sind in Tabelle 4 dargestellt. Die bereits angedeuteten geschlechts- und altersspezifischen Effekte lassen sich bestätigen. Aus dem positiven b-Koeffizienten ( $b=0,876$ ) der Variable Geschlecht lässt sich zunächst ableiten, dass die Wahrscheinlichkeit einer realistischen Zielsetzung bei den Männern tendenziell größer ist als bei Frauen. Für eine anschaulichere Interpretation des Einflusses vom Geschlecht auf die realistischen Erwartungen eignet sich der Effekt-Koeffizient ( $e^b$ ). Er gibt den Faktor für die Vervielfachung des Wahrscheinlichkeitsverhältnisses an (Best & Wolf 2010). Konkret bedeutet es, dass die Chance, realistische Ziele zu formulieren, bei Männern 2,4-mal größer ist. Dieses Ergebnis ist wenig überraschend. Frauen streben oftmals ein dünneres Idealbild an und setzen sich aufgrund dessen höhere Ziele. Bei der Variable Alter lässt sich festhalten, dass angesichts des positiven b-Koeffizienten sich die Wahrscheinlichkeit einer realistischen Erwartung mit zunehmenden Alter steigt ( $b=0,077$ ). Exakt nimmt die Chance, realistische Ziele zu haben, pro Lebensjahr um 8% ( $e^b=1,080$ ) zu.

Als ein weiterer Prädiktor für die Wahrscheinlichkeit moderater Erwartung erweist sich die verstärkte Wahrnehmung der Nachteile einer Gewichtsabnahme ( $b=0,893$ ). Zu den Nachteilen zählen Aspekte wie zum Beispiel das Aufbringen von mehr Zeit für die Speisenzubereitung oder die Bedenken, dass keine ausreichende Sättigung einsetzt. Hohe Werte auf der Skala stehen für eine erhöhte wahrgenommene Wichtigkeit der Nachteile. Der Effektkoeffizient zeigt, dass die Chance, realistische Erwartungen aufzuweisen, 2,4-mal größer ist, wenn die Wichtigkeit der Nachteile zunimmt. Es scheint, als ob das Abnehmen als eine mühevoll Aufgabe bei diesen Teilnehmern mit realistischen Zielen anerkannt wird.

Beim Essverhaltens- und Bewegungsindex, wobei höhere Werte ein günstigeres Essverhalten sowie ein aktiveres Bewegungsverhalten repräsentieren, wird deutlich, dass die Chance auf moderate Ziele mit steigendem Essverhaltensindex um 11,2% und zunehmenden Bewegungsindex um 19,1% abnimmt. Es wird an dieser Stelle vermutet, dass die Teilnehmer wissen, dass ein ausgewogenes Ess- und gesteigertes Bewegungsverhalten den Prozess der Gewichtsreduktion effektiv unterstützt. Dieses Wissen spiegelt sich in der erhöhten Zielsetzung wider. Tabelle 4 enthält Angaben zur Beurteilung der Güte des Gesamtmodells.

Aus dem signifikanten Likelihood - Ratio -  $\chi^2$ -Wert geht hervor, dass die Nullhypothese, wonach alle Regressionskoeffizienten des Modells in der Grundgesamtheit gleich Null sind, mit hoher Wahrscheinlichkeit abgelehnt werden kann. Somit ist die Erklärungskraft des Gesamtmodells nicht zufällig. Im Hinblick auf das McFadden-Pseudo- $R^2$  lässt eine Verbesserung um 18% durch die hier aufgenommenen unabhängigen Variablen auf eine ausreichende Erklärungskraft des Modells schließen.

---

<sup>4</sup> Werte zwischen 0,2-0,4 weisen bereits auf eine gute Modellanpassung (Backhaus 2011)

**Tabelle 5: Ergebnisse der logistischen Regression (1=realistische Erwartungen) (n=472)**

| Variablen                           | Regressions-<br>koeffizient b | Standard-<br>fehler | Wald-<br>statistik | Effekt-<br>koeffizient e <sup>b</sup> |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------------|
| <b>Konstante</b>                    | -4,158                        | 2,942               | 1,996              | 0,016                                 |
| <b>BMI (Programmbeginn)</b>         | -0,030                        | 0,045               | 0,449              | 0,970                                 |
| <b>Motiv: Aussehen (D)</b>          | -0,287                        | 0,570               | 0,253              | 0,751                                 |
| <b>Motiv: Gesundheit (D)</b>        | -0,037                        | 0,483               | 0,006              | 0,963                                 |
| <b>Ernährungsqualitätsindex</b>     | -0,056                        | 0,057               | 0,967              | 0,946                                 |
| <b>Essverhaltensindex*</b>          | -0,119                        | 0,068               | 3,072              | 0,888                                 |
| <b>Bewegungsindex*</b>              | -0,212                        | 0,121               | 3,084              | 0,809                                 |
| <b>Körperwahrnehmungsindex</b>      | 0,069                         | 0,061               | 1,260              | 1,071                                 |
| <b>Versuchung: Verfügbarkeit</b>    | -0,215                        | 0,332               | 0,420              | 0,807                                 |
| <b>Versuchung: Gesellschaft</b>     | -0,001                        | 0,263               | 0,000              | 0,999                                 |
| <b>Versuchung: Unwohlsein</b>       | -0,469                        | 0,304               | 2,376              | 0,626                                 |
| <b>Versuchung: Aktivitäten</b>      | -0,063                        | 0,374               | 0,028              | 0,939                                 |
| <b>Wahrgenommene Vorteile</b>       | -0,236                        | 0,369               | 0,407              | 0,790                                 |
| <b>Wahrgenommene Nachteile**</b>    | 0,893                         | 0,370               | 5,833              | 2,442                                 |
| <b>Nutzen hilfreicher Beziehung</b> | 0,289                         | 0,196               | 2,164              | 1,334                                 |
| <b>Geschlecht (D) (Mann=1)*</b>     | 0,876                         | 0,470               | 3,467              | 2,401                                 |
| <b>Alter (in Jahren)***</b>         | 0,077                         | 0,022               | 12,700             | 1,080                                 |

**McFadden Pseudo-R<sup>2</sup>= 0,179; Nagelkerkes Pseudo-R<sup>2</sup>=0,217; 93,4% Klassifizierung der Richtigen**

**Likelihood-Ratio- $\chi^2$  (df) 41,06 (16)\*\*\***

(D) = Dummy-Variable; Signifikanz auf \*\*\* p<0.001, \*\* p<0.05, \* p<0.1

## Schlussfolgerung

Die von den Teilnehmern beabsichtigten Ziele zur Gewichtsreduktion liegen zwischen 10-30%. Die 2-3mal höheren Erwartungen überragen deutlich die Empfehlungen von 5-10%. Dies ist übereinstimmend mit den Ergebnissen aus kontrollierten Studien, in der die Teilnehmer ebenso hohe Erwartungen mitbringen. Folglich lassen sich in Programmen aus der „realen Welt“ keine höheren Ziele beobachten. Zu unrealistischen Erwartungen an eine Gewichtsreduktion neigen besonders jüngere Frauen mit einer geringen wahrgenommenen Wichtigkeit der Nachteile einer Gewichtsabnahme. Zudem kann auch gezeigt werden, dass Teilnehmer mit einem positiven Ess- und einem intensiven Bewegungsverhalten zu unrealistischen Zielen tendieren.

Ausgehend von diesen identifizierten Prädiktoren muss bei den Teilnehmern versucht werden, mögliche negative Emotionen und Enttäuschungen über den Gewichtsverlauf, die häufig zum Abbruch des Programms führen, entgegen zu wirken. Es müssen Maßnahmen entwickelt werden, die es schaffen, unrealistische Gewichtsvorstellungen in erreichbare Ziele umzulenken. Auf diesem Wege ließen sich möglicherweise die hohen Abbruchraten in ambulanten als auch internetbasierten Gewichtsreduktionsprogramme reduzieren.



## Literatur

- Ayyad C, Anderson T (2000): Long-Term Efficacy of Dietary Treatment of Obesity: a Systematic Review of Studies Published Between 1931 and 1999. *Obesity Reviews*, 1: 113-119.
- Backhaus K, Erichson B, Plinke W (2011): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. 13. Auf., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Baldwin, AS, Rothman AJ, Jeffery RW (2009): Satisfaction with Weight Loss: Examining the Longitudinal Covariation Between People's Weight-loss-related Outcomes and Experiences and Their Satisfaction. *Annals of Behavioral Medicine*, 38: 213-224.
- Best H, Wolf C (2010): *Logistische Regression. Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*. Wolf C, Best H (Hrsg), VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden: 827-854
- Byrne S, Cooper Z, Fairburn C (2003): Weight Maintenance and Relapse in Obesity: A Qualitative Study. *International Journal of Obesity*, 27: 955-962.
- Dutton GR, Perri MG, Dancer-Brown M, Goble M, Van Vesserm N (2010): Weight Loss Goals of Patients in a Health Maintenance Organization. *Eating Behaviors*, 11: 74-78.
- Foster G, Wadden T, Vogt R, Brewer G (1997): What is a Reasonable Weight Loss? Patients' Expectations and Evaluations of Obesity Treatment Outcomes. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 65: 79–85.
- Grave RD, Calugi S, Molinari E, Petroni M L, Bondi M, Compare A, Marchesini G (2005): Weight Loss Expectations in Obese Patients and Treatment Attrition: An Observational Multicenter Study. *Obesity Research*, 13: 1961-1969.
- Hauner H (2002): Therapie der Adipositas. *Gynäkologe*, 35: 279-290.
- Hauner H (2011): Das Fett muss weg – ambulante Programme zur Gewichtsreduktion. *Ernährungsumschau*, 4: 190-193.
- Hauner H, Buchholz G, Hamann A, Husemann B, Koletzko B, Liebermeister H, Wabitsch M, Westenhöfer J, Wirth A, Wolfram G (2006): Prävention und Therapie der Adipositas. Evidenzbasierte Leitlinien der Deutschen Adipositas-Gesellschaft, der Deutschen Diabetes-Gesellschaft, der Deutschen Gesellschaft für Ernährung und der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin
- Linde JA, Jeffery RW, Finch EA, Ng DM, Rothman AJ (2004): Are Unrealistic Weight Loss Goals Associated with Outcomes for Overweight Women? *Obesity Research*, 12: 569–576.
- Longin R, Grasse M, Aspalter R et al. (2012) Effectiveness of the online weight reduction program KiloCoach™ and comparison with other evaluated commercial direct intervention and online programs. *Obesity Facts*. 5: 372–383
- Prochaska JO, DiClemente CC (1982): Transtheoretical therapy: Toward a more integrative model of therapy. *Psychotherapy: Theory, Research and Practice*, 19: 267-288.

## **Lässt sich Tierwohl messen?**

Irena Czycholl und Joachim Krieter

Institut für Tierzucht und Tierhaltung der  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

### **Einleitung**

Die Sorge um die Tiergerechtigkeit unserer Haltungssysteme und das Wohlergehen der Tiere nimmt in den letzten Jahrzehnten in unserer westlich geprägten Gesellschaft stetig zu (Fraser, 2009; Main et al., 2001). Die unterschiedlichen landwirtschaftlichen Produktionsprozesse werden vermehrt hinterfragt und allgemein wird eine stärkere Berücksichtigung des Tierschutzes und des Tieres als Individuum gefordert (Passantino et al., 2008; Sundrum, 1998). Problematisch bei der Forderung nach mehr Tierwohl ist jedoch alleine schon die genaue Definition des Begriffs. So haben verschiedene Bevölkerungsgruppen sehr unterschiedliche Vorstellungen, wie Wohlbefinden bei einem Tier aussehen sollte. Allgemein anerkannt ist die Auffassung, dass Wohlbefinden die Abwesenheit von physischen wie psychischen Schmerzen, Leiden und Schäden umfasst (FAWC, 1993). Zusätzlich wird den Tieren ein Recht auf positive Emotionen zugesprochen (Miele et al., 2011). Aus den Schwierigkeiten der Definition des Begriffs Tierwohl wird ersichtlich, dass es keine leichte Aufgabe ist, eine objektive Beurteilung und Messung zu realisieren. Mit dieser Fragestellung, nämlich der praktikablen, wissenschaftlich fundierten Messung von Tierwohl, hat sich das internationale, interdisziplinäre „Welfare Quality“® - Projekt von 2004-2009 befasst. Daraus entstanden sind die sogenannten „Welfare Quality®“-Animal Welfare Assessment Protokolle (AWAP) (Miele et al., 2011; Welfare Quality®, 2009). Derzeit sind „Welfare Quality®“ - Protokolle für die Hauptnutztierarten – Rinder, Geflügel und Schweine verfügbar.

### **Ziele**

Im vorliegenden Beitrag soll das Konzept der Erfassung von Tierwohl mit Hilfe der „Welfare Quality“® - Protokolle vorgestellt werden sowie eine Beurteilung der Zuverlässigkeit und Praktikabilität am Beispiel des Protokolls für Mastschweine erfolgen.

## Prinzip der Animal Welfare Assessment Protokolle

Die Protokolle basieren auf Befragungen unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen sowie Meinungen anerkannter Experten aus unterschiedlichsten Gebieten, womit eine einheitliche Definition dessen, was der Begriff Tierwohl umfassen sollte, gelegt wurde.

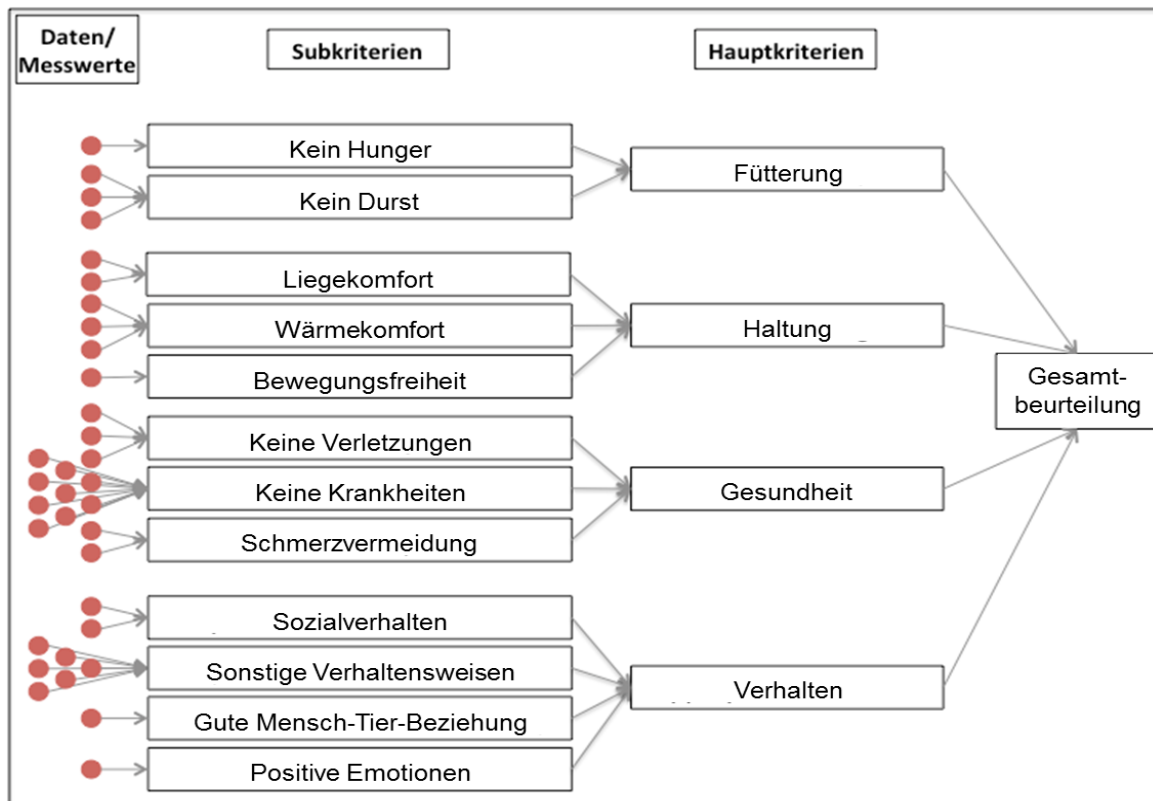


Abb. 1 „Welfare Quality“® Konzept

Allgemein sind die Protokolle in die Hauptkriterien Fütterung, Haltung, Gesundheit und Verhalten unterteilt. Diese Hauptkriterien basieren auf den den Tieren vom ‚Farm Animal Welfare Council‘ zugesprochenen und wissenschaftlich allgemein anerkannten fünf Freiheiten (frei von Hunger und Durst, frei von Krankheit, Schmerz und Verletzungen, frei von Unbehagen, Freiheit artgemäßen Verhalten auszuüben, frei von Angst oder Leid) (FAWC, 1993). Nachfolgend gibt es insgesamt 12 Subkriterien, die wiederum mit Hilfe von ca. 30 im Stall zu erhebenden Indikatoren gemessen werden. Wann immer möglich, werden für die Erhebung der Indikatoren tiergestützte Kriterien herangezogen, um das Hauptaugenmerk auf das Tier als Individuum zu legen. Ergänzt wird dies durch management- und ressourcenbezogene Parameter.

Für jedes der Sub- und Hauptkriterien wird ein Wert zwischen 0 und 100 durch mathematische Verfahren ermittelt und schlussendlich die Einstufung der Betriebe in „excellent“, „enhanced“, „good“ oder „not classified“ ermöglicht (Wel-

fare Quality®, 2009). Dabei ist eine Kompensation zwischen den einzelnen Kriterien ausgeschlossen.

### **Vorgehensweise beim AWAP**

Die Erhebung des AWAP beginnt auf dem Betrieb mit einem Interview des Betriebsleiters, wobei grundsätzliche Informationen zum Stallaufbau und Managementprozeduren erfragt werden. Im Stall wird zunächst ein sogenanntes „Qualitative Behaviour Assessment“ (QBA) durchgeführt. Hierzu wird an 4-6 Orten im Betrieb eine jeweils gut überschaubare Zahl von Tieren über einen Zeitraum von insgesamt 20 Minuten frei beobachtet. Im Anschluss wird auf einer Skala von 125mm die An- oder Abwesenheit von 20 vorgegebenen subjektiven Adjektiven wie „aktiv“, „ruhig“ oder „glücklich“ notiert. Danach erfolgt an insgesamt drei Tiergruppen von je 40-60 Tieren eine direkte Verhaltensbeobachtung mit Hilfe von Momentaufnahmen. Zunächst werden dazu alle Schweine aufgescheucht und ihnen dann fünf Minuten zur Beruhigung Zeit gegeben. Währenddessen wird die Anzahl von Husten und Niesen erfasst. Nach diesen fünf Minuten werden alle Tiere der Gruppe insgesamt fünf Mal im Abstand von je zwei Minuten in eine der folgenden Verhaltensweisen eingestuft, je nachdem, was sie zum genauen Zeitpunkt des Beobachtens gerade machen: „Ruhen“, „Erkundung der Bucht“, „Beschäftigung mit Beschäftigungsmaterial“, „Positives Sozialverhalten“, „Negatives Sozialverhalten“ oder „Sonstiges“. Zuletzt werden insgesamt 10 Buchten betreten und die Reaktion der Schweine auf den Menschen mittels Human Animal Relationship Test (HAR) beurteilt. Maximal 15 der Tiere in der Bucht werden anschließend auf bestimmte Einzeltierparameter untersucht, wie z.B. Wunden und Verschmutzung am Körper, Lahmheit, Bursitis, Hautzustand, Schwanzbeißen und Rektalprolaps. Bei diesen Parametern betrachtet man jeweils eine Seite des Schweines und teilt es entweder einem zweistufigen Score (an- oder abwesend) oder einem dreistufigen Score (abwesend, leicht vorhanden, schwer vorhanden) entsprechend ein. Außerdem wird in der Bucht noch auf das Vorhandensein von flüssigem Kot als Anzeichen für Durchfall sowie auf die Sauberkeit und Funktion der Tränken geachtet. Die Maße der Buchten werden ebenfalls notiert, um den verfügbaren Platz pro Tier zu ermitteln.

In der vorliegenden Studie wurde zunächst ein Beobachtervergleich durchgeführt. Dazu wurden insgesamt 19 Betriebe gemeinsam von zwei Beobachtern, die zuvor in der Erhebung des AWAP von Mitwirkenden des Welfare Quality®-Projekts offiziell geschult wurden, gemeinsam besucht. Das Protokoll wurde bei diesen Besuchen zur gleichen Zeit, aber vollkommen unabhängig voneinander an derselben Stichprobe von Tieren durchgeführt.

Zudem wurde das Protokoll auf neun Schweinemastbetrieben in Schleswig-Holstein über den Zeitraum von jeweils zwei Mastdurchgängen pro Betrieb insgesamt dreimal von Beobachter 1 erhoben. Die erste Erhebung erfolgte zwei Wochen nach Einstellung bei einem Gewicht von ca. 40kg, die zweite Erhebung etwa zur Mitte der Mastperiode bei einem Gewicht von ca. 70-80kg und die Letzte kurz vor Beginn der Ausstallung, bei einem Gewicht von ca. 100kg.

### **Statistische Auswertung**

Für die statistische Auswertung wurden als Korrelationsmaß der Spearman Rangkorrelationskoeffizient (RS), zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der Intraklassen Koeffizient (ICC) und als Maße der Übereinstimmung der Smallest Detectable Change (SDC) sowie Limits of Agreement (LoA) berechnet.

Sowohl der RS als auch der ICC sind parameterfreie Maße zwischen 0 und 1, wobei davon ausgegangen wird, dass die Korrelation bzw. die Wiederholbarkeit besser ist, je näher der Wert sich 1 annähert. Ein Wert ab 0,4 wird als moderate Übereinstimmung gewertet, ein Wert ab 0,6 als starke Übereinstimmung (Brosius, 1998; McGraw, 1996). Beim SDC werden die Standardabweichungen zwischen den Beobachtern verglichen. Bei guter Übereinstimmung und somit geringer Standardabweichung sollten die Werte bei 0 liegen. Dieser Parameter sagt aus, welches der kleinste messbare Unterschied ist. Wenn der SDC also beispielsweise 0,04, also 4% ist, so bedeutet das, dass die Beobachter innerhalb einer Spannweite von 4% übereinstimmen bzw. dass Betriebe sicher voneinander differenziert werden können, wenn sich die Häufigkeit des Auftretens des betreffenden Parameters um 4% unterscheidet. Auch der LoA wird letztlich aus den Standardabweichungen der beiden Beobachter berechnet und sollte möglichst klein sein. Er gibt das Vertrauensintervall an, in dem 95% der Messungen liegen sollten. In Anlehnung an das einfache Übereinstimmungsmaß (de Vet et al., 2006) wird in der vorliegenden Studie beim SDC sowie LoA ein Wert bis 0,1, entsprechend einer Differenz zwischen den Beobachtern von 10%, als gut angesehen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

#### *Beobachtervergleich*

Im QBA zeichnen sich zwischen den Beobachtern ähnliche Tendenzen in der Beurteilung ab. Allerdings zeigen fast alle berechneten Übereinstimmungsmaße eine schlechte Beobachterübereinstimmung (Tab. 1). Bei der Betrachtung dieser Auswertung ist zu berücksichtigen, dass sich eventuell eine andere Auswertungsmethode, nämlich die Erstellung einer Hauptkomponentenanalyse, bei welcher eine Ebenenreduktion angestrebt wird, besser eignen würde als die bloße Betrachtung von Millimeterwerten. Dies erscheint sinnvoll,

da einige Begriffe wie z. B. „lebhaft“ und „aktiv“ sehr ähnlich sind und sich gegenseitig beeinflussen. Somit steht die abschließende Bewertung der Zuverlässigkeit des QBAs noch aus.

Tab. 1: Skalenwerte [mm] ausgewählter Adjektive des Qualitative Behaviour Assessments dargestellt als Mittelwerte über die 19 gemeinsamen Betriebsbesuche sowie Darstellung der Übereinstimmungsmaße Spearman Rangkorrelationskoeffizient (RS), Intraklassen Korrelationskoeffizient (ICC) und Smallest Detectable Change (SDC)

|            | <b>Beobachter1</b>             | <b>Beobachter2</b> | <b>rs</b> | <b>ICC</b> | <b>SDC</b> |
|------------|--------------------------------|--------------------|-----------|------------|------------|
|            | <b>[Mittelwert (Stddabw.)]</b> |                    |           |            |            |
| aktiv      | 68 (12)                        | 92 (18)            | 0.33      | 0.17       | 0.30       |
| ängstlich  | 4 (2)                          | 15 (14)            | 0.14      | -0.01      | 0.25       |
| aufgeregt  | 18 (15)                        | 36 (31)            | 0.56      | 0.40       | 0.34       |
| frustriert | 3 (3)                          | 17 (14)            | 0.61      | 0.12       | 0.21       |
| lustlos    | 6 (9)                          | 12 (13)            | 0.11      | 0.14       | 0.20       |
| lebhaft    | 63 (20)                        | 58 (28)            | 0.50      | 0.53       | 0.27       |
| gereizt    | 2 (2)                          | 21 (17)            | 0.16      | -0.02      | 0.33       |
| ziellos    | 2 (3)                          | 20 (15)            | -0.42     | -0.07      | 0.27       |

Bei der direkten Verhaltensbeobachtung stimmten die Beobachter bei allen Kategorieeinteilungen sehr gut miteinander überein (Abb. 2).

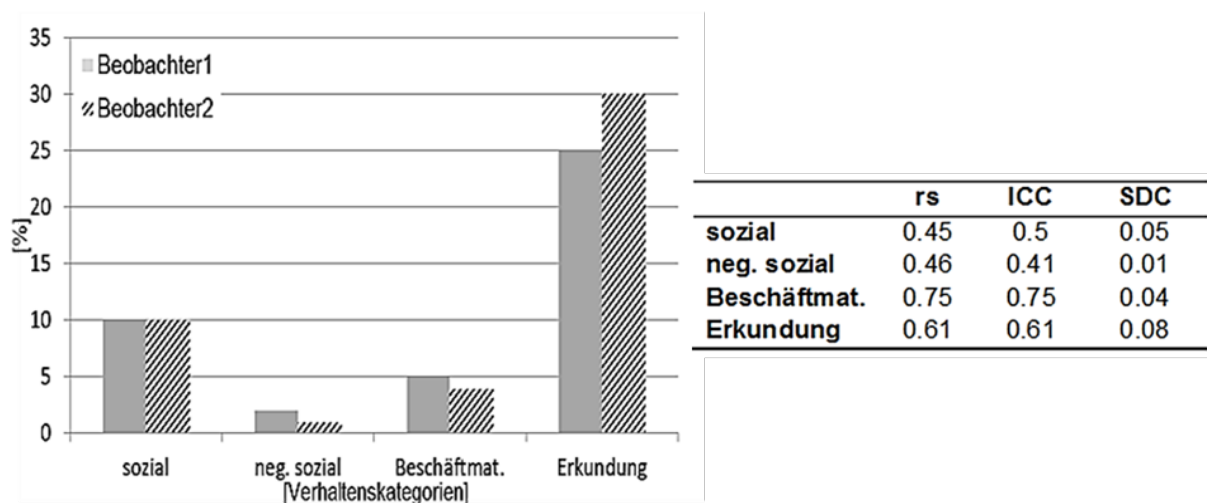


Abb. 2 Häufigkeiten der Verhaltensweisen aus der direkten Verhaltensbeobachtung in Prozent vom aktiven Verhalten als Mittelwerte aus den Betriebsbesuchen je Beobachter sowie Darstellung der Übereinstimmungsmaße Spearman Rangkorrelationskoeffizient (RS), Intraklassen Korrelationskoeffizient (ICC) und Smallest Detectable Change (SDC)

Die Ergebnisse des Human Animal Relationship Tests zeigen starke Abweichungen zwischen den Beobachtern (Abb. 3). Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Durchführung dieses Tests nicht unabhängig voneinander erfolgte, da dieselben Buchten nacheinander betreten wurden und die erste Beurteilung somit die zweite beeinflusst hat.

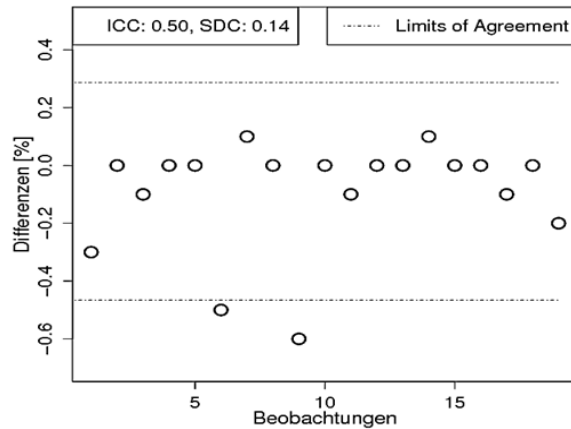


Abb. 3 Prozentanteile an Buchten mit Panik-reaktion im Human Animal Relationship Test pro Betrieb als Differenz zwischen Erhebern

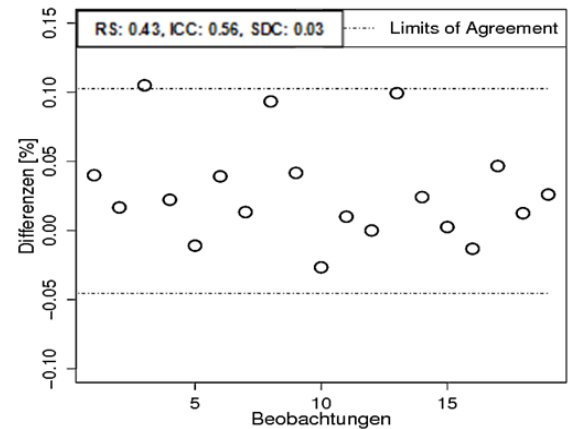


Abb. 4 Prozentanteil der Tiere mit Wundenscore1 pro Betrieb als Differenz zwischen Erhebern

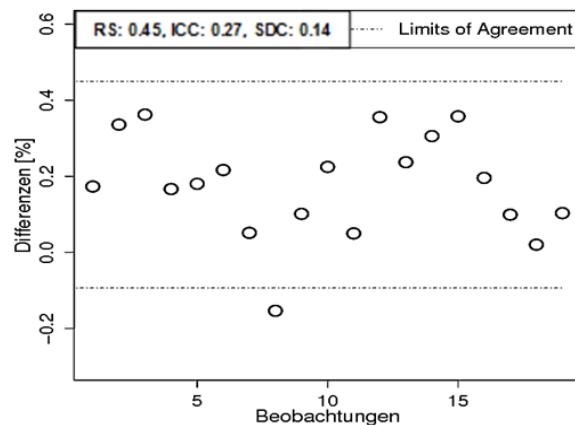


Abb. 5 Prozentanteil der Tiere ohne Bursitis pro Betrieb als Differenz zwischen den Erhebungen

Auch bei den erhobenen Einzeltierparametern zeigte sich im Allgemeinen eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 4), wobei einige Parameter im Beobachtungszeitraum nicht beobachtet werden konnten (Rhinitis Atrophicans, Rektalprolaps u.a.m.). Deutliche Abweichungen zeigten sich lediglich beim Einzeltierparameter Bursitis, welcher als Indikator für die Messung des Liegekomforts herangezogen wird (Abb. 5). Der Parameter Bursitis ist also wenig zuverlässig und fehlerhaft. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Gelenke beispielsweise bei starker Bewegungsaktivität der Tiere oder starker Verschmutzung der Gliedmaßen schwer beurteilbar sind. Weiterhin können andere Ursachen für Schwellungen im Gelenkbereich, wie z. B. bakterielle Infektionen nur schwer von Bursitis unterschieden werden. Entweder muss die kategorielle Einteilung von Bursitis (0, 1, 2) überarbeitet werden, sodass eine eindeutigere Zuordnung möglich ist, oder ein anderer Indikator muss für die Erfassung des Liegekomforts gefunden werden.



### *Wiederholte Betriebsbesuche*

Bei den wiederholten Betriebsbesuchen zeigten sich beim QBA ebenfalls keine aussagekräftigen Wiederholbarkeiten.

Die Ergebnisse der direkten Verhaltensbeobachtung hingegen waren stabil über die Besuche hinweg und lieferten jeweils ähnliche Ergebnisse (Tab 2).

Tab. 2 Prozentanteile der vier Verhaltenskategorien vom aktiven Verhalten über die sechs Betriebsbesuche

| <b>Mastdurchgang</b> | <b>Erhebungsnr</b> | <b>sozial</b> | <b>neg. sozial</b> | <b>Beschäftmat</b> | <b>Erkundung</b> |
|----------------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 1                    | 1                  | 10            | 2                  | 6                  | 20               |
| 1                    | 2                  | 9             | 1                  | 9                  | 25               |
| 1                    | 3                  | 10            | 1                  | 7                  | 27               |
| 2                    | 4                  | 7             | 1                  | 8                  | 30               |
| 2                    | 5                  | 13            | 2                  | 7                  | 24               |
| 2                    | 6                  | 9             | 1                  | 6                  | 26               |

Bei diesen Verhaltensbeobachtungen handelt es sich also um durchaus zuverlässige Indikatoren, wie sich schon bei der Auswertung des Beobachtervergleichs zeigte. Um zu überprüfen, ob die in einem relativ kurzen Zeitintervall mit eventueller Beeinflussung der Tiere durch den Beobachter aufgenommenen Verhaltensweisen dem tatsächlichen Verhalten der Tiere über einen längeren Zeitraum entspricht, wurden zusätzlich einige Buchten videoüberwacht.

Bei der Betrachtung der Panikreaktion der Tiere im Human Animal Relationship Test fallen große betriebsindividuelle Unterschiede auf (Abb. 6). Außerdem zeigt sich, dass eine klare Altersabhängigkeit besteht: So reagierten jüngere Tiere häufiger mit Flucht und Angst als ältere, was sich durch Gewöhnungseffekte der Tiere an die neue Umwelt und den Menschen erklären lässt. Dass ältere, schwerere Schweine in ihren Reaktionen generell gelassener sind, ist allgemein bekannt und durch Studien belegt (Rydhmer et al., 2008).

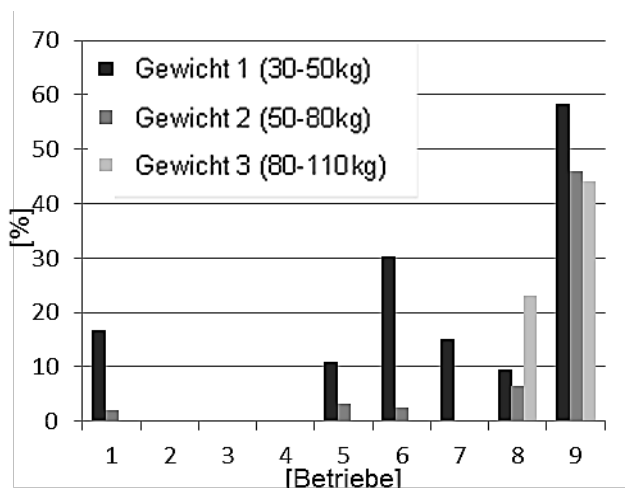


Abb. 6 Prozentanteil der Buchten mit Panikreaktion pro Betrieb (1-9) in den verschiedenen Gewichts- bzw. Altersstufen

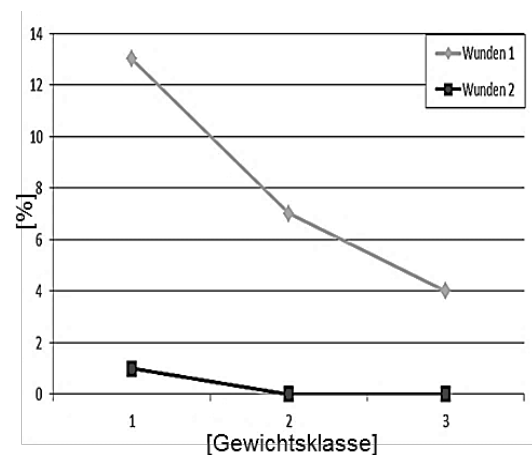


Abb. 7 Tiere mit Wunden in Prozent in Abhängigkeit vom Gewicht (Alter) (Mittelwerte aus den Betriebsbesuchen)

Viele der Einzeltierparameter sind stabil über die 6 Betriebsbesuche, wobei hier wieder vermerkt werden muss, dass einige Indikatoren überhaupt nicht oder nur selten auftraten. Bei dem Gesundheitsparameter „Wunden“ zeigt sich wiederum eine klare Altersabhängigkeit (Abb. 7). Dies lässt sich nachvollziehbar dadurch begründen, dass die jüngeren Tiere kurz nach der Einstellung zunächst miteinander kämpfen, um eine Rangordnung in der neuen Gruppe zu etablieren, wodurch zunächst Wunden entstehen. Nachdem eine feste Rangordnung besteht, wird nicht mehr gekämpft und es entstehen somit keine oder nur sehr wenige neue Verwundungen. Zwischen den beiden Mastdurchgängen wiederum ist dieser Verlauf des Wundenscores zwischen dem ersten, zweiten und dritten Betriebsbesuch identisch. Wenn man also den ersten Besuch der beiden Mastdurchgänge, durchgeführt bei einem ähnlichen Gewicht der Tiere, miteinander vergleicht, ist auch dies ein relativ konstanter Parameter. Diese Erkenntnis legt nahe, dass bei der Auswertung bestimmter Indikatoren das Alter der Tiere in Zukunft Berücksichtigung finden muss. Der Einzeltierparameter Bursitis zeigt schlechte Übereinstimmungen zwischen den einzelnen Besuchen. Dies stützt die bereits aufgestellte These, dass es sich hier um einen unzuverlässigen Indikator handelt, der Überarbeitung benötigt.

## Fazit

Das „Welfare Quality®“ Animal Welfare Assessment Protokoll für Mastschweine ist ein praktikabler Ansatz, Tierwohl messbar zu machen. Eine Schulung zwecks genauer und einheitlicher Definition aller Begriffe, Parameter und

Anleitungen zur Durchführung ist zwar erforderlich, dennoch ist die Anwendung leicht erlernbar und für jede Person möglich. Unterschiede zwischen den Betrieben sind darstellbar und eine Einstufung dieser ist möglich. Allerdings sind nicht alle Indikatoren gleichermaßen geeignet und teilweise ist Überarbeitung oder auch Berücksichtigung von Alter oder Gewicht der beurteilten Tiere nötig.

## **Literatur**

- Brosius, F. 1998. Spss8 professionelle statistik unter windows. International Thomson Publishing.
- de Vet, H. C. W., C. B. Terwee, D. L. Knol, and L. M. Bouter. 2006. When to use agreement versus reliability measures. *Journal of Clinical Epidemiology* 59: 1033-1039.
- FAWC. 1993. Report on priorities for animal welfare research and development.
- Fraser, D. 2009. Assessing animal welfare: Different philosophies, different scientific approaches. *Zoo Biology* 28: 507-518.
- Main, D. C. J., F. Webster, and L. E. Green. 2001. Animal welfare assessment in farm assurance schemes. *Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science* 51: 108-113.
- McGraw, W. 1996. "Forming inferences about some intraclass correlations coefficients": Correction. 1939-1463(Electronic);1082-989X(Print), American Psychological Association.
- Miele, M., I. Veissier, A. Evans, and R. Botreau. 2011. Animal welfare: Establishing a dialogue between science and society. *Animal Welfare* 20: 103-117.
- Passantino, A., F. Conte, and M. Russo. 2008. Animal welfare labelling and the approach of the european union: An overview on the current situation. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit-Journal of Consumer Protection and Food Safety* 3: 396-399.
- Rydhmer, L., N. Lundeheim, and L. Canario. 2008. Genetic correlations between gestation length, piglet survival and early growth. *Livestock Science* 115: 287-293.
- Sundrum, A. 1998. Basic elements of ecological animal husbandry. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 105: 293-298.
- Wageningen UR Livestock Research. 2011. Welfare monitoring system - assessment protocol for horses.
- Welfare Quality®. 2009. Welfare quality® assessment protocol for pigs.

# **Konflikte um die Nutztierhaltung – Tierwohlstandards als Lösung? Versuch einer Antwort**

Birgit Schulze

Institut für Agrarökonomie

## **Einleitung**

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung ist Gegenstand zahlreicher und zunehmender Kritik. Um auf die zunehmende Tierschutz- bzw. Tierwohl-Besorgnis zu reagieren, wurden in den letzten Jahren verschiedene Konzepte entwickelt. Der Westfleisch-Konzern war bereits 2011 mit dem Label „Aktion Tierwohl“ am Markt vertreten. Im Jahr 2012 wurde das Konzept des Labels „Für mehr Tierschutz“ vom Deutschen Tierschutzbund vorgestellt und 2013 im Markt eingeführt; für 2014 ist die Umsetzung der „Initiative Tierwohl“ vorgesehen. Letztere zwei Konzepte sind Ergebnis eines Austauschs verschiedener Akteure und Stakeholder der Wertschöpfungskette.

Dieser Beitrag geht der Frage nach, ob diese beiden Ansätze die Tierschutzdiskussion entschärfen, also die Konflikttintensität zwischen Land- und Fleischwirtschaft einerseits und Bürgern bzw. Zivilgesellschaft andererseits reduzieren können. Es wird dabei angenommen, dass eine Entschärfung des Konflikts auf zwei Wegen erreicht werden könnte, nämlich durch

1. Anreize zur tatsächlichen Änderung der Haltungsbedingungen und / oder
2. durch ein besseres wechselseitiges Verständnis beider Seiten, das im Zuge der gemeinsamen Aushandlungsprozesse erreicht wird.

Nach einer kurzen Darstellung der Konzepte wird im Folgenden zunächst deren Anreizwirkung analysiert. Daran schließt die Diskussion ihres Beitrags zu einem besseren wechselseitigen Verständnis der Parteien an.

## **Charakteristika des Tierschutzlabels und der Initiative Tierwohl**

Die in diesem Beitrag zu diskutierenden Konzepte unterscheiden sich in einigen wesentlichen Charakteristika (Tabelle 1). Das Label des Deutschen Tierschutzbundes beruht auf einem zweistufigen Standard, der gegenüber den Endverbrauchern als „geprüft nach den Richtlinien des Deutschen Tierschutzbundes“ kommuniziert wird. Die Initiative Tierwohl will ein „flexibles Bonussystem“ für Landwirte schaffen, ohne das so produzierte Fleisch im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) besonders zu kennzeichnen. Die Finanzierung folgt hier einem Um-

lagesystem, für das seitens des LEH ein Fonds eingerichtet wird, in den nach aktuellem Stand alle großen Unternehmen des LEH einzahlen. Über die Höhe der in diesem Zusammenhang umgesetzten allgemeinen Steigerung der Endverbraucherpreise für Fleisch ist noch nichts bekannt.

**Tabelle 1. Charakteristika der analysierten Konzepte**

|                                     | <b>„Für mehr Tierschutz“</b>                                                                                                                                                                                     | <b>„Initiative Tierwohl“</b>                                                                 |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Beteiligte Akteure</b>           | u.a.: Deutscher Tierschutzbund, Neuland, Vion, Universitäten Göttingen und Kiel                                                                                                                                  | Analog zu QS alle Stufen der Wertschöpfungskette, Bonussystem in Abstimmung mit PROVIEH e.V. |
| <b>Kriterien</b>                    | Feste Kriterien, differenziert in 2 Stufen (s.u.) für Haltung und Eingriffe am Tier sowie Fütterung                                                                                                              | Pflicht- und Wahlkriterien für Haltung und Eingriffe am Tier; Mindestumfang an Maßnahmen     |
| <b>Kontrolle und Zertifizierung</b> | Vom Deutschen Tierschutzbund zugelassene Zertifizierungsunternehmen, Verbindung mit QS-Audit möglich; unangemeldete Stichproben auch durch den Deutschen Tierschutzbund selbst                                   | Ergänzend zum QS-Audit durch entsprechende Zertifizierungsunternehmen                        |
| <b>Kennzeichnung</b>                | Zweistufiges Label (1 bzw. 2 Sterne für Einstiegs- bzw. Premiumstufe)                                                                                                                                            | Keine Kennzeichnung für Endverbraucher vorgesehen                                            |
| <b>Preissetzung im LEH</b>          | Zwischen Bio- und konventioneller Ware                                                                                                                                                                           | Ggfs. geringer Aufpreis auf alle Fleischprodukte (Umlagesystem)                              |
| <b>Finanzierung</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weitergabe des Mehrpreises entlang der Kette</li> <li>• Lizenzgebühren (Grundbetrag und laufende Gebühren) der Label-Nutzer zur Abdeckung der Kosten des DTB</li> </ul> | Fonds des LEH, ggfs. gespeist aus allgemeiner Anhebung des Niveaus der Fleischpreise         |
| <b>Förderung</b>                    | BMEL fördert Begleitforschung in der Entwicklungs- und Pilotphase zur Umsetzung der Einstiegsstufe                                                                                                               | keine bekannt                                                                                |

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach Deutscher Tierschutzbund (o.J.a, b), QS (2013, 2014), top agrar (2013); ohne Anspruch auf Vollständigkeit

### **Analyse des Beitrags der Konzepte in der Tierschutzdiskussion** **Anreizwirkung für verbesserte Haltungsbedingungen?**

Ein häufig geäußertes Argument für die wahrgenommenen Unterschiede zwischen gesellschaftlichen Anforderungen einerseits und der Realität der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung andererseits, ist das Fehlen entsprechender marktlicher Anreize für die Umsetzung höherer Tierhaltungsstandards. Während die Landwirte die mangelnde Zahlungsbereitschaft der Verbraucher beklagen, rügen die gesellschaftlichen Stakeholder das mangelnde Angebot, das eine Äußerung der entsprechenden Zahlungsbereitschaft unmöglich macht. Sykes et

al. (1957) bezeichnen solche Argumentationen als „Neutralisierungsstrategien“, die zur Abwälzung der Verantwortung auf Andere dienen. TeVelde et al. (2002) sprechen im Zusammenhang mit der Tierschutzdiskussion auch von einem „stillschweigenden Pakt der kollektiven Nicht-Verantwortlichkeit“ zwischen Landwirten und Verbrauchern. Im Ergebnis scheint es eine Unterversorgung der Gesellschaft mit „Tierschutz in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“ zu geben – deren Ausmaß allerdings kaum quantifizierbar ist. Inwiefern sind die beiden Konzepte geeignet, dieses Dilemma aufzulösen und Anreize für eine stärkere Berücksichtigung von Tierschutzaspekten zu setzen?

Basierend auf der Neuen Institutionenökonomik (Jensen und Meckling, 1976; Williamson, 2010) wird hier angenommen, dass Landwirte (Schlachtunternehmen / LEH) nur dann bereit sind, in artgerechte Haltung bzw. deren Kommunikation im Zusammenhang mit dem angebotenen Fleisch zu investieren, wenn sie davon ausgehen können, dass die entstehenden Mehrkosten auch tatsächlich durch den Abnehmer (Schlachtunternehmen, LEH, Verbraucher) abgegolten werden.<sup>5</sup>

Ein Teil des Problems liegt in dem Charakteristikum der Tierhaltungsform als Vertrauenseigenschaft (Darby und Karni, 1973) von Fleischprodukten begründet: am Zwischen- oder Endprodukt ist nicht zu erkennen, wie das Tier gehalten wurde, von dem das Fleisch stammt. Der Großteil der Fleisch- und Wurstwaren wird in Deutschland zudem über den LEH abgesetzt. Es herrscht folglich eine Informationsasymmetrie zwischen Anbietern und Abnehmern, die mit zunehmender Entfernung der Kettenakteure vom Produkursprung zunimmt.<sup>6</sup> Eine solche Informationsasymmetrie kann durch die Bereitstellung glaubwürdiger Nachweise (Zertifikate, Garantien) abgebaut werden. Dies ist jedoch mit Kosten verbunden, die als *Transaktionskosten* bezeichnet werden. Zu den Transaktionskosten zählen auch die Kosten der Suche nach geeigneten Transaktionspartnern (Schlachtunternehmen suchen Landwirte, die bereit sind, besondere Tierhaltungsstandards zu erfüllen; Landwirte suchen Schlachtunternehmen, die bereit sind, ihre Tiere zu vermarkten, usw.), und die Kosten der Verhandlung über

---

<sup>5</sup> Es sei angemerkt, dass die Kostenwirkungen höherer Tierhaltungsanforderungen durchaus heterogen zu beurteilen sind. So zeigen Bornett et al. (2002) in einer Studie in Großbritannien auch *kostensenkende* Effekte bestimmter Haltungsmaßnahmen. Mehrkosten können aber über die tatsächlichen oder erwarteten Produktionskosten hinaus auch den wahrgenommenen Aufwand der Verhaltensänderung und die für das Lernen investierte Zeit umfassen.

<sup>6</sup> In „kurzen Ketten“, bspw. in der Direktvermarktung, können landwirtschaftliche Betriebe mit geringer Besatzdichte und Strohhaltung von Schweinen wirtschaftlich arbeiten, da sie höhere Marktpreise erzielen und keine zwischengeschalteten Akteure Margen abschöpfen. Die Informationsasymmetrie wird durch den unmittelbaren Kontakt der Kunden mit den Betrieben aufgehoben. Gleichzeitig gibt es auch direktvermarktende Betriebe mit intensiveren Haltungsbedingungen, die bei ihren Kunden ebenfalls ein hohes Vertrauen genießen.

die Vertragskonditionen. Darüber hinaus fallen während der Vertragslaufzeit weitere Kosten für die Kontrolle der Vertragseinhaltung an (vgl. Tabelle 1, Zertifizierungs- und Lizenzgebühren).

Es wird deutlich, dass, sobald eine Transaktion sich nicht auf ubiquitär verfügbare Standard-Güter bezieht, zusätzlich zu den (ggfs. höheren) Produktionskosten auch Transaktionskosten anfallen. Diese Kosten sind umso höher, je größer die notwendigen – spezifischen - Investitionen ausfallen, die abzusichern sind.

Nach transaktionskostentheoretischer Argumentation ist ein Zustandekommen von Transaktionen in Verbindung mit spezifischen Investitionen und unter Unsicherheit nur bei Vorliegen entsprechender Absicherungsmechanismen realistisch. Dabei kommt es mit zunehmender Unsicherheit und Spezifität zu einer Verschiebung weg von der rein marktlichen Koordination hin zu stärker regulierenden Verträgen oder sogar zu einer vertikalen Integration. Uzzi (1996) hingegen konstatiert, wie auch viele Forscher im Feld des Relationship Management (Schulze et al., 2014), dass Vertrauen zwischen Geschäftspartnern zur Reduktion von Unsicherheit beiträgt und Möglichkeiten zum Austausch schwierig monetär zu bewertender Güter und Dienstleistungen schafft.

Welche Implikationen haben diese Überlegungen nun für die Anreizwirkung der beschriebenen Konzepte? Ist von einer raschen Diffusion in der landwirtschaftlichen Praxis auszugehen? Aus Platzgründen muss eine detaillierte Darlegung der Überlegungen zu den anreizbezogenen Implikationen an dieser Stelle unterbleiben. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Transaktionscharakteristika der beiden Konzepte.

Zunächst ist festzuhalten, dass die hier beschriebenen, kollaborativen Ansätze zur Erarbeitung der Standards bzw. Anforderungen und entsprechenden Preisaufschläge eine wichtige Grundlage zur Reduktion der *aushandlungsbezogenen Transaktionskosten* darstellen. Da das Tierschutzlabel allerdings eine Lizenzierung der beteiligten Marktpartner entlang der Wertschöpfungskette fordert, ist davon auszugehen, dass zumindest in der Anfangsphase die *Suchkosten* für Landwirte und Schlachtunternehmen mit entsprechender Anpassungsbereitschaft durchaus hoch ausfallen dürften, während die breite Abdeckung und die Übernahme der zusätzlichen Kontrollen durch das flächendeckend vorhandene QS-System im Rahmen der Initiative Tierwohl auf der anderen Seite eher geringe Suchkosten implizieren sollte.

Die gemeinsame Aushandlung der Kriterien stellt jedoch noch nicht zwangsläufig die *Vertragseinhaltung* sicher. Hier stellt sich die Frage, welche Anreize die Beteiligten haben, einen Vertragsbruch zu begehen, sich also opportunistisch zu verhalten, und wie hoch andererseits die Kosten der Kontrolle der Vertragseinhaltung sind. Erstere sind grundsätzlich umso höher, je höher der erwartete Gewinn und je geringer das Entdeckungsrisiko.

**Tabelle 2. Transaktionscharakteristika der Konzepte**

|                                         | <b>„Für mehr Tierschutz“</b>                                                                                                                                                                 | <b>Initiative Tierwohl</b>                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Opportunismus-<br/>gefahr</b>        | <i>Nichteinhaltung der Vorgaben:</i><br>abhängig von Kontrollqualität und<br>Höhe der Kompensationszahlung<br><i>Vorzeitige Beendigung</i><br>LEH: gering bis mittel<br>Alle anderen: gering | <i>Nichteinhaltung der Vorgaben:</i><br>abhängig von Kontrollqualität und<br>Höhe der Boni<br><i>Vorzeitige Beendigung</i><br>LEH: mittel bis hoch<br>Alle anderen: gering |
| <b>Spezifische Inves-<br/>titionen</b>  | <i>physische und psychische Investi-<br/>tionen</i><br>alle: mittel bis hoch<br><i>Zeitaufwand für Standard-<br/>Entwicklung und Kommunikation</i><br>alle: mittel bis hoch                  | <i>physische und psychische Investi-<br/>tionen</i><br>L: wählbar;<br><i>Zeitaufwand für Standard-<br/>Entwicklung und Kommunikation</i><br>nur hoch Standardentwicklung   |
| <b>Suchkosten</b>                       | Hoch                                                                                                                                                                                         | -                                                                                                                                                                          |
| <b>Verhandlungs-<br/>kosten</b>         | Mittel bis hoch (relativ intranspa-<br>rent)                                                                                                                                                 | -                                                                                                                                                                          |
| <b>Spezifische Kon-<br/>trollkosten</b> | Mittel                                                                                                                                                                                       | gering                                                                                                                                                                     |

L: Landwirte; SV: Schlacht- und Verarbeitungsunternehmen; LEH: Lebensmitteleinzelhändler  
Quelle: Eigene Zusammenstellung

Insgesamt ist aufgrund der Anreizstrukturen zu erwarten, dass sich zunächst nur Landwirte beteiligen werden, die die Kriterien bereits weitestgehend erfüllen. Für andere Landwirte dürfte die wahrgenommene Unsicherheit des Erfolges des Labels und mithin einer ausreichenden Dauer der Kompensationszahlung derzeit noch prohibitiv wirken. Dies könnte einen Teufelskreis bedeuten, da eine kritische Masse Voraussetzung für den langfristigen Markterfolg ist, diese aber nur zustande kommen wird, sofern die Erfolgserwartung hinreichend groß ist. Die relativ geringe Dauer (3 Jahre) der Verpflichtung seitens des Handels im Falle der Initiative Tierwohl und das im starken Wettbewerb begründete, verbreitete Misstrauen zwischen den Akteuren der Kette dürften bewirken, dass im Wesentlichen solche Maßnahmen umgesetzt werden, die kurzfristig (d.h., spätestens zum Beginn einer neuen Mastperiode) reversibel sind bzw. nur geringe spezifische Investitionen erfordern. Somit ist durch keines der beiden Konzepte eine schnelle Veränderung der aktuellen Haltungsbedingungen in der Fläche zu erwarten. Der folgende Analyseschritt beleuchtet das Potenzial der kollaborativen Prozesse für eine Entschärfung des Konflikts.

### ***Konfliktreduktion durch verbessertes Verständnis der Konfliktparteien?***

Verschiedene Ansätze der Konfliktforschung können einen Beitrag zur Beantwortung der Frage leisten, ob die kollaborative Entwicklung von Tierschutz-Konzepten zu einer Verringerung der Konfliktintensität beitragen kann. Grund-



voraussetzung hierfür ist die Feststellung oder Annahme, dass es sich beim vorliegenden Konflikt um einen Ermessenskonflikt handelt, der durch Kompromissfindung lösbar ist (vgl. Deimel et al., 2012). Johnson und Johnson formulieren in ihrer Theorie der konstruktiven Kontroverse bestimmte Normen, die von den Konfliktparteien berücksichtigt werden müssen, soll der Konflikt konstruktiv gelöst werden (Johnson et al., 2006: 73f.). Demnach führen die wechselseitige Offenheit und das Interesse für die Position der anderen Seite zu einer stärkeren Annäherung, die eine konstruktive Auseinandersetzung mit Kompromissen ermöglicht. Die Annahme des Vorliegens eines Ermessenskonflikts um die Tierhaltung wird gestützt durch die Existenz der beiden weit vorangeschrittenen, oben beschriebenen Initiativen. Auch der in NRW entwickelte Kompromiss bezüglich des Schwänzekupierens (MKUNLV, 2014), Ergebnis eines Austauschs zwischen Bauernverband, Veterinären und Landesregierung, zeigt, dass auf dem Wege des Dialogs Lösungen gefunden werden können, die die Ansprüche aller Seiten berücksichtigen.

Inwiefern die verschiedenen Bemühungen von der breiten Bevölkerung sowie von den Mitgliedern der Tierschutzorganisationen und Bauernverbände wahrgenommen und bewertet werden, erfordert noch eine genaue Untersuchung. Aus der Fairness-Forschung ist jedoch bekannt, dass neben der wahrgenommenen Fairness des Verhandlungsergebnisses auch die Fairness des Prozesses sowie die Fairness der Informationsversorgung und im interpersonellen Umgang bewertet werden (Aholt et al., 2008). Hieraus kann geschlossen werden, dass, je mehr es gelingt einen transparenten und für die Mitglieder glaubwürdigen Prozess der Kompromissaushandlung zu schaffen, umso größer auch die allgemeine Akzeptanz der Lösung ausfallen wird.

Auf institutioneller Ebene, also zwischen den verschiedenen Interessenvertretern und in der Diskussion mit den Gesetzgebern, könnten die Dialoge zu mehr Vertrauen zwischen den Konfliktparteien führen und damit eine Entschärfung des Konflikts und das Finden konstruktiver Lösungen fördern. Eine Abschliefung mindestens einer der Parteien führt hingegen in der Regel zu destruktiven Prozessen, in denen schlussendlich oft alle Beteiligten verlieren (Johnson et al., 2006). Dies wäre beispielsweise dann der Fall, wenn Standards gesetzlich auf ein Niveau angehoben werden, dass eine wirtschaftliche Produktion verhindert, während der weiterhin hohe Fleischkonsum im Inland durch Importe aus Drittländern sichergestellt wird. Entsprechende Entwicklungen lassen sich beispielsweise an der Entwicklung der britischen Schweineproduktion sowie der Importe nach Großbritannien seit dem Jahr 2000 beobachten (DEFRA, 2013), wobei nicht eindeutig geklärt scheint, inwiefern die Erwartungen der Akteure oder aber die tatsächliche Unwirtschaftlichkeit der Produktion unter verschärf-

ten Standards zu dem massiven Einbruch der inländischen Schweineproduktion führte.

### Fazit

Der Beitrag diskutiert die Implikationen aktueller, kollaborativer Ansätze zur Entwicklung von Tierschutz-Konzepten für die Entwicklung der Konflikte um die Nutztierhaltung. Es konnte gezeigt werden, dass die Erfolgsaussichten des Labels einerseits und die Verlässlichkeit einer ausreichend langfristigen Aufschlagszahlung bei der Initiative Tierwohl andererseits von vielen Landwirten als zu unsicher bewertet werden dürfte. Damit würden die Konzepte (zunächst) vor allem zu einer besseren Transparenz und noch nicht zu einer tatsächlich *verbesserten* Tierhaltung führen. Erfolgreiche Umsetzungsbeispiele können aber einerseits als Datengrundlage für eine verlässlichere Einschätzung der Kostenimplikationen, Möglichkeiten und Grenzen von Maßnahmen sowie als Best Practice-Beispiele dienen und andererseits, im Falle des Labels, auch der besseren Abschätzung der Nachfragereaktionen dienen. Für letztere ist aber auch eine klare und zielgruppengerechte Positionierung der Produkte in den Verkaufsstätten des Lebensmitteleinzelhandels Voraussetzung (vgl. Schulze, 2012). Wenngleich eine *schnelle* Veränderung der Haltungsbedingungen nicht zu erwarten ist, tragen die beiden Konzepte dennoch zu einer Versachlichung der Tierschutzdiskussion und damit zu konstruktiven Kompromissen bei. Hierfür muss es (weiterhin) gelingen, Entscheidungsprozesse und Zielsetzungen transparent zu machen.

### Literatur

- Aholt, A., Queißer, C., Rowe, J., Vogel, R. (2008): Das organisationspsychologische Fairness-Konstrukt im Marketing. Ein bibliometrischer Überblick. Zeitschrift für Management, Vol. 3, Nr. 4, S. 321-338.
- Darby, M. R. and E. Karni (1973): Free Competition and the Optimal Amount of Fraud. Journal of Law and Economics, Vol. 16 (April), pp. 67-86.
- DEFRA (2013): United Kingdom home-fed production, trade and supply of pig meat, 1985-2012. Abrufbar unter [www.gov.uk/government/publications/cattle-sheep-and-pig-slaughter](http://www.gov.uk/government/publications/cattle-sheep-and-pig-slaughter).
- Deimel, I., Franz, A., Frentrup, M., von Meyer, M., Spiller, A., Theuvsen, L. (2010): Perspektiven für ein Europäisches Tierschutzlabel. URL: <http://download.ble.de/08HS010.pdf>. Abrufdatum: 15.03.2010.
- Deimel, I., Rumm, S., Schulze, B. (2012): Öffentlichkeitsarbeit der Veredelungswirtschaft: Eine empirische Analyse der Wahrnehmungen von Landwirten und Verbrauchern im Licht der Konflikt- und Glaubwürdigkeitsforschung. In: Schriftenreihe der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Band 28, S. 51-73.
- Deutscher Tierschutzbund (o.J.a): Kriterienkatalog für eine tiergerechte Haltung und Behandlung von Mastschweinen im Rahmen des Tierschutzlabels „Für mehr Tierschutz“. Abrufbar unter: <http://www.tierschutzlabel.info/home/>
- Deutscher Tierschutzbund (o.J.b): Zertifizierungsprogramm für das Tierschutzlabel „Für mehr Tierschutz“. Abrufbar unter [www.tierschutzlabel.info/home/](http://www.tierschutzlabel.info/home/)

- Jensen, M.C., Meckling, W.H. (1976): Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), S. 305-360.
- Johnson, D.W., Johnson, R.T., Tjosvold, D. (2006): Constructive Controversy. The Value of Intellectual Opposition. In: Deutsch, M., Coleman, P.T., Marcus, E.C. (Hrsg.): *The Handbook of Conflict Resolution. Theory and Practice*, 2nd Edition, Jossey Bass.
- MKULNV (2014): Gemeinsame NRW-Erklärung zum Verzicht auf das „routinemäßige“ Kürzen des Schwanzes bei Schweinen. Abrufbar unter <http://www.umwelt.nrw.de/funktionen/druck/druck.php>.
- PROVieh (2013): Öffentliches Branchenbekenntnis zum Bonitierungssystem und unabhängigen Audits. Pressemeldung vom 6.9.2009, abrufbar unter [www.provieh.de](http://www.provieh.de).
- Schulze, B., Steffen, N., Busch, G., Spiller, A. (2014): Supply Chain Orientation as an attitudinal construct. In: *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 9(4) (forthcoming).
- Schulze, B. (2012): Neues Tierschutzlabel - Zum Wohle des Tieres und der Verbraucher? *Bauernblatt Schleswig Holstein und Hamburg*, 51./52. Ausgabe (2012), S. 68-69.
- Schulze, B., Spiller, A. (2008a): Trends im Verbraucherverhalten: Ein Forschungsüberblick zum Fleischkonsum. In: Spiller, A., Schulze, B. (Eds.): *Zukunftsperspektiven der Fleischwirtschaft – Verbraucher, Märkte, Geschäftsbeziehungen*. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen, S. 233-272.
- SUS (2013): Briten stellen Import-Schweinefleisch an den Internet-Pranger. Meldung vom 6. Februar 2013, abrufbar unter [www.susonline.de](http://www.susonline.de).
- Sykes, G.M., Matzka, D. (1957): Techniques of Neutralization: A Theory of Delinquency. *American Sociological Review* 22(6), S. 664-670.
- Te Velde, H., Aarts, N., Woerkum, C.v. (2001): Dealing with ambivalence: farmers' and consumers' perceptions of animal welfare in livestock breeding. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Nr. 15, S. 203-219.
- Uzzi, B. (1996): The sources and consequences of embeddedness for the economic performance of organizations: the network effect. *American Sociological Review* 61(4), S. 674-698.
- Williamson, O.E. (2010): Transaction Cost Economics: The Natural Progression. *Journal of Retailing* 86 (3), S. 215–226.

# **Tatsächliche Kosten und gesellschaftliche Zahlungsbereitschaften für ökologische Leistungen landwirtschaftlicher Betriebe: Eine modellgestützte Analyse für Schleswig-Holstein**

Ernst Albrecht, Nana Zarnekow, Svetlana Petri und Christian Henning

Institut für Agrarökonomie

## **Einleitung**

Neben der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie von Energieträgern ist die Bereitstellung von ökologischen Leistungen eine wichtige Funktion der Landwirtschaft. Durch eine nachhaltige Landnutzung werden öffentliche (Umwelt-)Güter, wie z.B. Klimaschutz, Naturschutz, Biodiversität oder Gewässerschutz, erzeugt (Bioökonomierat 2010). Nicht zuletzt durch Änderungen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU hat dieser Aspekt der Landwirtschaft bzw. Bodennutzung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und ist zunehmend auch in den Fokus öffentlichen Interesses gerückt (EU-Kommission 2011). Bei ökologischen Leistungen handelt es sich um öffentliche Güter. Charakteristisch für öffentliche Güter ist, dass diese durch den Markt nicht adäquat bereitgestellt werden können. Ein effizientes Niveau an Umweltgütern kann somit nur über einen gesellschaftlichen bzw. politischen Prozess erreicht werden. Voraussetzung hierfür ist, die ökonomischen und ökologischen Wechselwirkungen in der landwirtschaftlichen Produktion einerseits und die gesellschaftliche Bewertung der einzelnen Umweltgüter andererseits zu erfassen und zu verstehen. Am Beispiel des *Gewässerschutzes* werden in diesem Beitrag die Kosten der Bereitstellung ökologischer Leistungen auf Produzentenseite und die Zahlungsbereitschaften für ökologische Leistungen auf Konsumentenseite ermittelt und gegenübergestellt. Auf der Produktionsseite wird dafür ein Modell der Schleswig-Holsteinischen Landwirtschaft unter Begrenzung der Stickstoffdüngerüberschüsse verwendet. Die Zahlungsbereitschaften der Konsumenten werden über Discret-Choice-Experiment ermittelt.

## Methodische Vorgehensweise und Datengrundlage

### Kosten:

Die Landwirtschaft von Schleswig-Holstein wird durch ein regionales, ökologisch-ökonomisches LP-Modell abgebildet (vgl. Henning et al. 2004 bzw. Albrecht und Henning 2013). Das Modell enthält Durchschnittsbetriebe, die sich durch die Merkmale Unternaturraum, Betriebstyp und Betriebsgröße differenzieren. Es liegen 416 Betriebe in dem Modell vor, wobei jeder Betrieb eine spezifische Zahl an real existierenden Betrieben repräsentiert. Anhand dieser Zahlen lassen sich die Produktionsstrukturen der jeweiligen Unternaturräume und von ganz Schleswig-Holstein hochrechnen. Die Modellbetriebe wählen aus ca. 1800 Aktivitäten für 15 Bodenklassen, mit ca. 550 Restriktionen ihr Produktionsprogramm. In den Produktionsaktivitäten sind unterschiedliche Intensitätsstufen für den Pflanzenbau enthalten. Diese unterscheiden sich in Ertragshöhe und Höhe der Inputfaktoren (u.a. der Düngermenge). Mittels der Zu- und Abflüsse von Stickstoff durch die einzelnen Aktivitäten lassen sich außerdem die Hoftorbilanzen der Betriebe erfassen. Die Berechnung verschiedener Szenarien, bei denen jeweils der Stickstoffüberschuss der Betriebe in der Hoftorbilanz beschränkt wird, ergeben die Kosten der Begrenzung von Stickstoffdünger. Diese Kosten sind dabei im Modell als entgangener Deckungsbeitrag durch die Restriktion des Stickstoffüberschusses definiert. Ausgehend vom Status-Quo werden die Kosten für die Einschränkung der Stickstoffüberschüsse auf 80 kg N/ha, 60 kg N/ha, 40 kg N/ha, 20 kg N/ha und 0 kg N/ha ermittelt.

### Zahlungsbereitschaften:

Die Zahlungsbereitschaften auf Konsumentenseite werden durch ein Discret-Choice Experiment erfasst. Ein Discret-Choice Experiment ist eine Befragungsmethode, welche sich in erster Linie auf hypothetische Märkte anwenden lässt (Axhausen, 2003). Es unterstellt einen „stated-preference-Ansatz“, welcher der Wohlfahrtsökonomie entstammt. Ermittelt werden sind Präferenzen von Personen/Haushalten/Verbrauchern u.a. über Befragungen (Louviere, Hensher und Swait, 2000). Nach Sammer und Wüstenhagen (2006) ist das Discret-Choice Experiment eher eine Verknüpfung aus der Conjoint-Analyse (CA) und der Theorie diskreter Entscheidungen (discrete-choice). In der CA offenbaren die befragten Probanden dem Forscher ihre Präferenzen, indem sie ihnen vorgelegte Güter in eine Rangfolge bringen. Nach Backhaus et al. (2011) haben die Probanden die Möglichkeit, eine einfache Rangreihe zu bilden oder aber eine Rangwertung abzugeben. Beim erstgenannten wird vom „Ranking“ gesprochen und das Letztgenannte wird als „Rating“ bezeichnet.

In dieser Studie werden die Teilnehmer eines Online-Fragebogens vor verschiedene Auswahlentscheidungen gestellt. Diese Auswahlalternativen bieten unterschiedliche Ausprägungen verschiedener Umweltzustände (u.a. Gewässerschutz) und eine monatlich anfallenden Haushaltsabgabe, die für diese Alternative zu zahlen wäre. Eine der möglichen Alternativen entspricht dabei immer dem Status-Quo, bei dem keine zusätzlichen Kosten anfallen. Anhand ihrer getroffenen Auswahlentscheidungen offenbaren die Probanden ihre Präferenzen für die einzelnen Umweltzustände. Aus den Entscheidungen lassen sich dann die Zahlungsbereitschaften für die einzelnen Güter bestimmen.

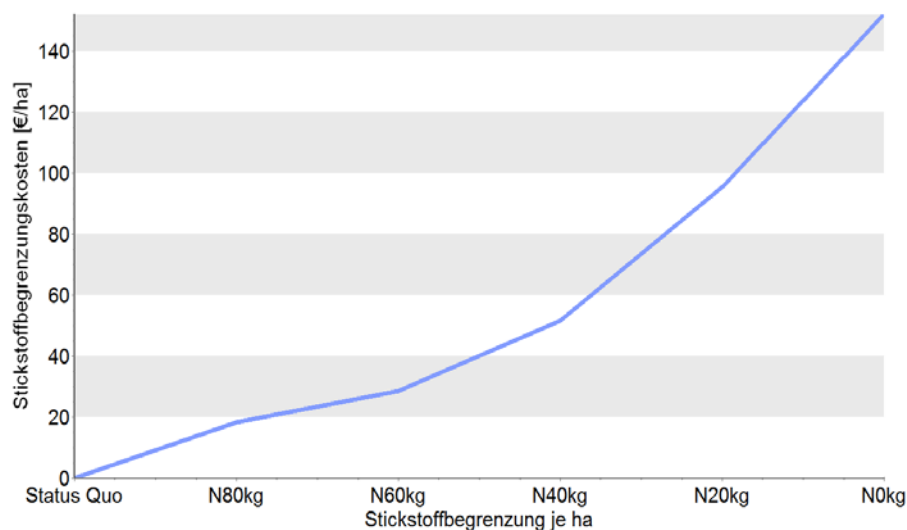
## Ergebnisse

### Kosten

Die Kosten auf Seiten der Produktion werden mit Hilfen von fünf Szenarien an Hand des LP-Modells bestimmt. Angefangen bei einer Begrenzung des Stickstoffüberschusses auf 80 kg N/ha sinkt der zulässige Überschuss in jedem weiteren Szenario um 20 kg N/ha.

In Abbildung 1 sind die durchschnittlichen Kosten in Schleswig-Holstein für die verschiedenen Szenarien angegeben. Die Kosten nehmen mit zunehmender Beschränkung zu. Bei einem maximalen Überschuss von 80 kg N/ha betragen sie ca. 18 €/ha und bei einer Hoftorbilanz mit keinem zulässigen Überschuss 150 €/ha. Die Kurve verläuft zunehmend steiler. Insbesondere ab der Begrenzung auf 40 kg N/ha ist ein stärkerer Anstieg in den Kosten zu beobachten. Ab diesem Szenario ist die Restriktion für die Betriebe so stark bindend, dass sie deutlich extensiver wirtschaften müssen und relativ einfache Anpassung des Produktionsprogramms nicht mehr ausreichen.

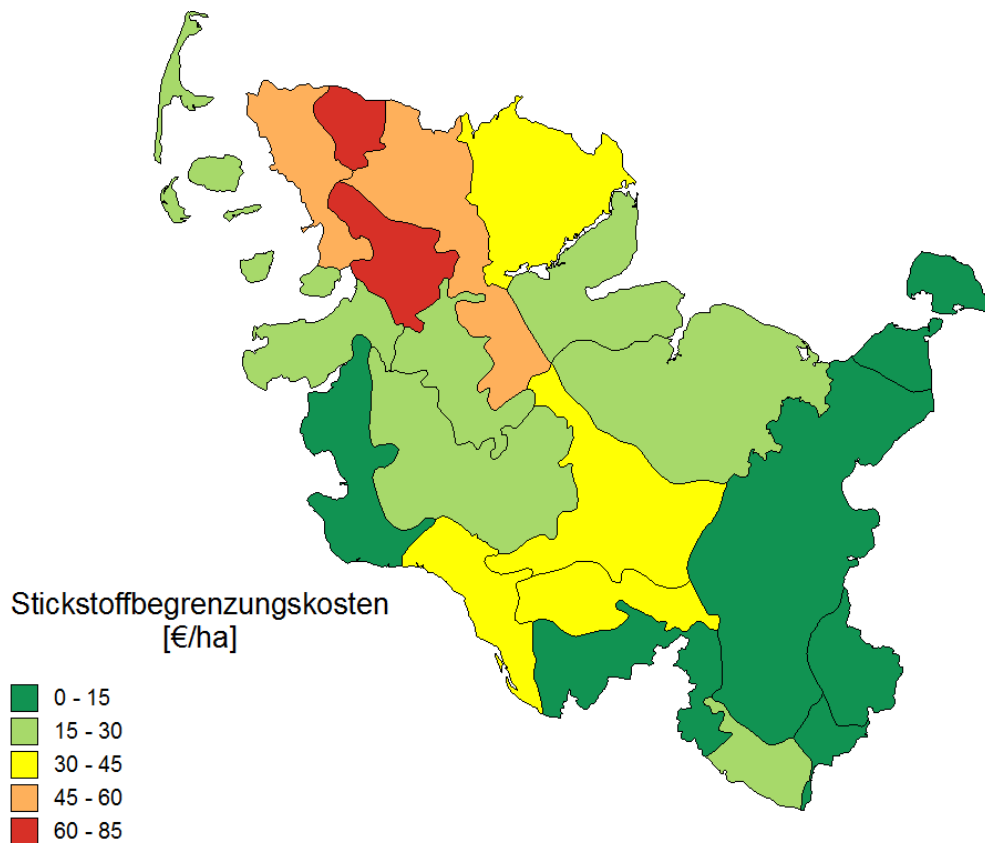
**Abbildung 7: Kostenfunktion der Stickstoffbegrenzung für Schleswig-Holstein**



Quelle: Eigene Darstellung

Für das Szenario „Begrenzung der Hoftorbilanz auf 60 kg N/ha“ ist die Regionalverteilung über die 22 Unternaturräume von Schleswig-Holstein in Abbildung 2 dargestellt. Die Verteilung der Kosten weist eine Spanne von 0 – 85 €/ha. Die höchsten Kosten fallen mit 60 bis 82 €/ha in der Lecker und Bredstedt-Husumer Geest an. Insbesondere Regionen im Norden und auf dem Geestrücken zeigen relativ hohe Kosten. Diese Unternaturräume sind unter anderem durch eine hohe Viehdichte und einen hohem Anteil an Biogasanlagen geprägt. Regionen, die stärker auf den Ackerbau ausgerichtet sind und einen geringeren Anteil an Biogasanlagen aufweisen, wie z.B. Dithmarschen, Ostholstein oder Fehmarn, haben hingegen nur Kosten von 15 €/ha oder weniger.

**Abbildung 8: Kosten für die Beschränkung der Hoftorbilanz auf 60 kg N/ha in den Unternaturräumen**

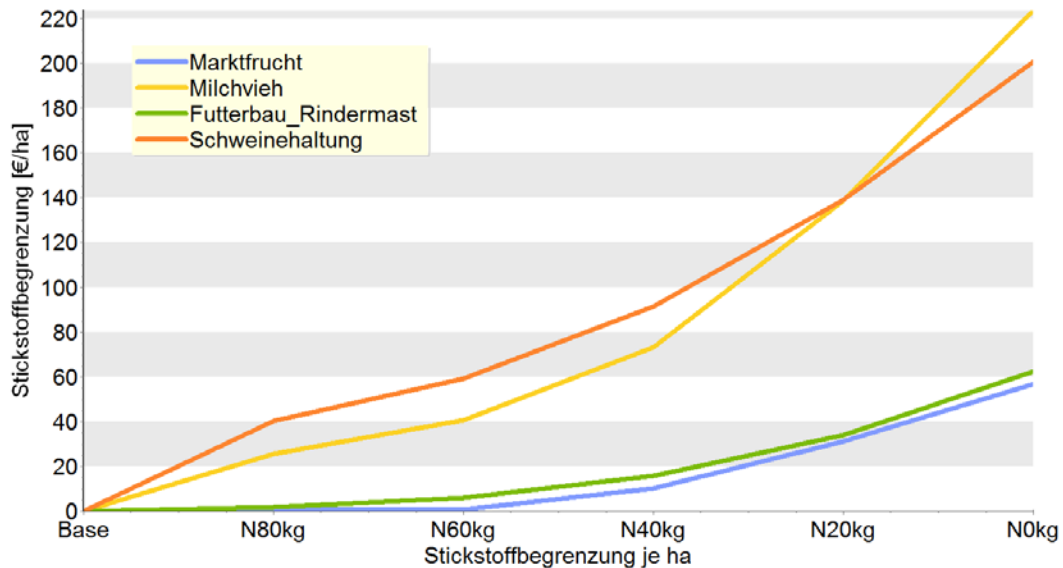


Quelle: Eigene Darstellung

Die Kosten der unterschiedlichen Betriebstypen weisen ebenfalls deutliche Unterschiede auf (vgl. Abbildung 3). Betriebstypen mit intensiver Tierhaltung (Milchviehbetriebe und Schweinehalter) entstehen durch eine Beschränkung der Hoftorbilanz auf 60 kg N/ha Kosten in Höhe von 40 €/ha bzw. 59 €/ha. Betriebe mit wenig bis gar keiner Tierhaltung haben in diesem Szenario hingegen kaum Kosten: ca. 6 €/ha für Futterbau\_Rindermast (Pflanzenbaubetriebe mit extensiver Rinderhaltung) bzw. ca. 1 €/ha für Marktfruchtbetriebe. Die Unterschiede

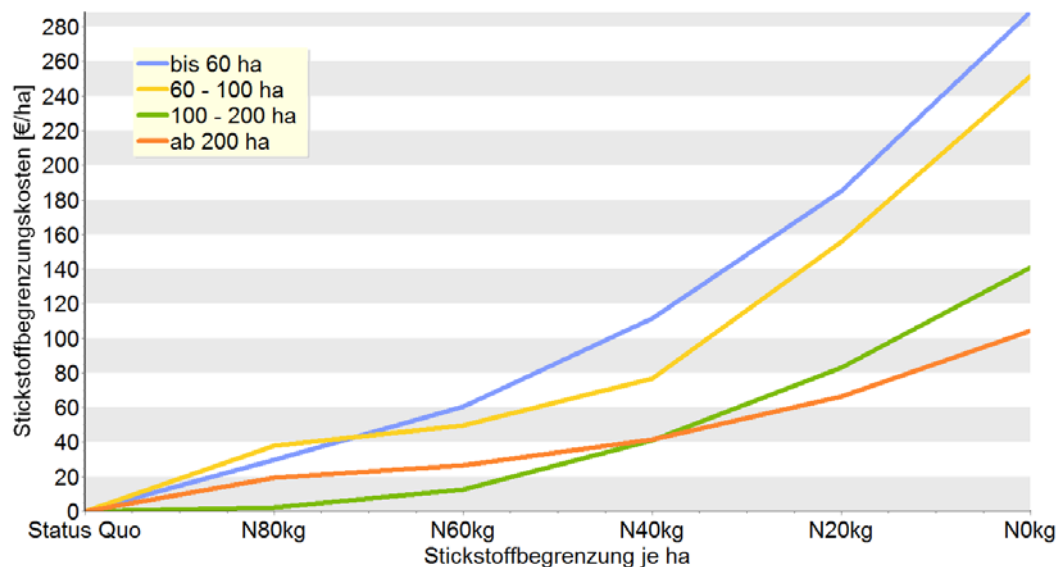
setzten sich über die weiteren Beschränkungsszenarien fort. Für  $0 \text{ kg N/ha}$  liegen die auf Tierhaltung spezialisierten Betriebe bei Kosten von  $200 \text{ €/ha}$  und mehr, während den ackerbaulichen Betriebe durch diese Beschränkung ca.  $60 \text{ €/ha}$  an Deckungsbeitrag entgeht.

**Abbildung 9: Kostenfunktionen der Stickstoffbegrenzung der Betriebstypen**



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 10: Kostenfunktion Milchviehbetrieb je Größenklasse**



Quelle: Eigene Darstellung



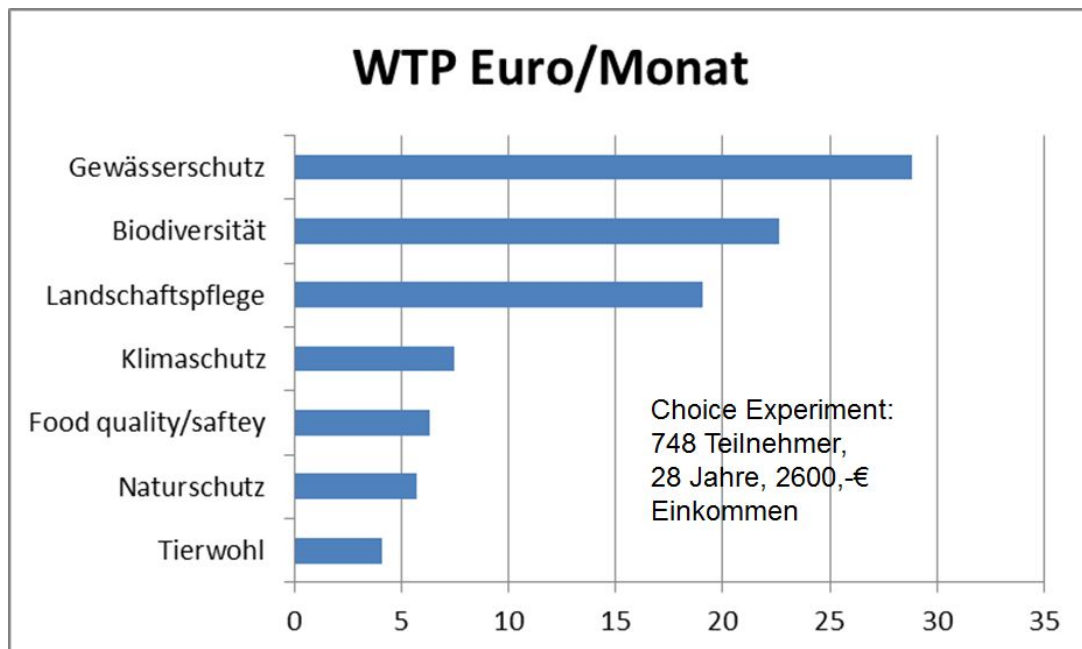
Werden die Kostenfunktion des Betriebstyps Milchviehhaltung für die vier verwendeten Größenklassen betrachtet, sind weitere Bestimmungsgründe für die Kosten der Stickstoffbegrenzung zu erkennen. Je kleiner die Betriebe, desto höher sind die Kosten durch die Restriktion.

Noch stärker ist dieser Umstand bei Schweine haltenden Betrieben. Für diesen Typ entstehen der kleinsten Größenklasse „bis 60 ha“ im Szenario 60 kg N/ha Kosten von 252 €/ha.

### Zahlungsbereitschaften

Anhand der Auswahlentscheidung der Teilnehmer für das Discret-Choice Experiment werden für insgesamt sieben Umweltgüter die Zahlungsbereitschaften bestimmt (vgl. Abbildung 5). Es sind 748 Personen befragt worden, wobei das Durchschnittsalter 28 Jahre beträgt und das Durchschnittseinkommen bei 2600 €/Monat liegt. Im Vergleich der ökologischen Leistungen fällt auf, dass lokale Umweltgüter wie z.B. Gewässerschutz tendenziell höhere Zahlungsbereitschaften aufweisen als globale Umweltgüter wie z.B. Klimaschutz. Vielmehr noch ergibt sich für die ökologische Leistung des Gewässerschutzes durchschnittlich die höchste Zahlungsbereitschaft (vgl. Abbildung 5), wenngleich eine nicht unerhebliche Varianz der angegebenen Zahlungsbereitschaften vorliegt (vgl. Abbildung 6).

**Abbildung 11: Zahlungsbereitschaften für Umweltgüter**

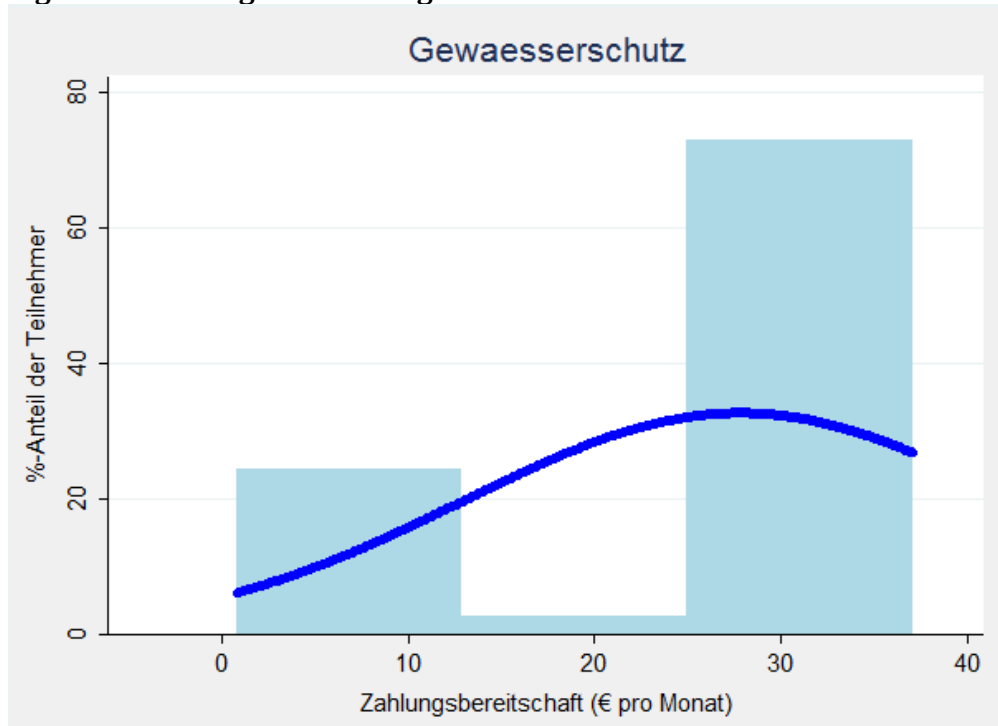


Quelle: Eigene Darstellung

Es wird an dieser Stelle näher auf das Umweltgut *Gewässerschutz* eingegangen, da nur hierfür die Kosten der Produktionsseite ermittelt wurden. Pro Monat und

Haushalt sind die Befragten bereit 29 Euro für den Gewässerschutz zu zahlen. Bei derzeit 1,414 Mio. Haushalten in Schleswig-Holstein ergibt dies eine gesamte Zahlungsbereitschaft von 492,072 Mio. Euro pro Jahr. Verteilt auf die 995.637 ha Landwirtschaftlich genutzter Fläche beträgt die Zahlungsbereitschaft durchschnittlich 494 €/ha für *Gewässerschutz (durch Beschränkung des Stickstoffüberschusses)* in Schleswig-Holstein.

**Abbildung 12: Verteilung der Zahlungsbereitschaft für Gewässerschutz**



Quelle: Eigene Darstellung

### Fazit

Das angestrebte Ziel, die Stickstoffüberschüsse der Landwirtschaft in Deutschland auf 60 kg N/ha zu beschränken, wurde bisher nicht erreicht. Bei einem Erreichen dieses Szenarios entstehen in Schleswig-Holstein im Durchschnitt Kosten von 28 €/ha. Die Verteilung dieser Kosten erweist sich allerdings als sehr heterogen. Betriebe mit einer hohen Viehdichte je Hektar haben deutlich höhere Kosten. Kleinen Milchviehbetriebe entstehen durch ein Stickstoffüberschuss der Hoftorbilanz auf 60 kg N/ha Kosten von 60 €/ha und kleinen Schweinhalter Kosten von 252 €/ha.

Die ermittelten Zahlungsbereitschaften der Konsumenten für die ökologische Leistung des Gewässerschutzes in Form von Beschränkung der Stickstoffüberschüsse liegen mit 494 €/ha deutlich über diesen Kosten. Dieses Ergebnis muss indes kritisch hinterfragt werden. Zum einen kann es durch die nicht repräsentative Stichprobe der Teilnehmer zu Verzerrung kommen, sodass allein die vor-

handene Varianz innerhalb der Stichprobe auf eine tendenzielle Überschätzung hinweist, zum anderen muss bei rein erfragten also hypothetischen Zahlungsbereitschaften mit einer Verzerrung der Ergebnisse gerechnet werden. Dies liegt in der Tendenz bei Umweltgütern „gewünschte“ Antworten – d.h. die Angabe von Zahlungsbereitschaften, die über den eigentlichen Präferenzen liegen – zu geben ebenso begründet wie in dem Fehlen von Erfahrung in der Quantifizierung von Zahlungsbereitschaften für öffentliche Güter. Nichtsdestotrotz kann der hier ermittelte Wert insofern verwendet werden, als dass selbst bei einer starken Korrektur nach unten die Zahlungsbereitschaften die Kosten der Bereitstellung deutlich übersteigen.

## **Literatur**

- Albrecht, E. und Henning, C. H.C.A. (2013): Biogasproduktion und nachhaltige Landnutzung: Ein Widerspruch? – Eine modellgestützte Analyse am Beispiel von Schleswig-Holstein. Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie 22, 2, 55-64.
- Axhausen, K. (2003). Social networks and travel: some hypotheses. Berlin Springer: in: Steierwald, G.; Kühne, H.D.; Vogt, W. (Hrsg.) Stadtverkehrsplanung: Grundlage - Methoden - Ziele.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. und R. Weiber (2008). Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer Verlag (12. Auflage).
- Bioökonomierat (2010): Berichte aus dem Bioökonomierat 01. Empfehlungen zum Forschungsfeld Bioökonomie: Boden, Wasser und Landnutzung – Herausforderungen, Forschungs-, Technologie- und Handlungsbedarf. Berlin, 2010.
- EU Kommission (2011): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. „Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa“. Brüssel, 20. September.
- Henning, Ch., A. Hennigsen, C. Struve und J. Müller-Scheeßel (2004): Auswirkungen der Mid-Term-Review-Beschlüsse auf den Agrarsektor und das Agribusiness in Schleswig-Holstein und Mecklenburg Vorpommern. Agrarwirtschaft Sonderdruck 178.
- Louviere, J., Hensher, D. und J. Swait (2000). Stated choice methods: analysis and application . Cambridge University Press.
- Sammer, K. und R. Wüstenhagen (2006). The influence of eco-labelling on consumer behaviour – results of a discrete choice analysis for washing machines. Bus. Strat. Env., 15: 185–199.

# **Analyse saisonaler Preisaufschläge für Brotweizen in Schleswig-Holstein**

Jens-Peter Loy, Thore Holm und Carsten Steinhagen  
Abteilung Marktlehre, Institut für Agrarökonomie

## **Einleitung**

Die Vermarktung von Getreide ist seit der Preiskrise im Wirtschaftsjahr 2007/08 ein immer wiederkehrendes Thema von erheblicher betrieblicher Bedeutung. In Hanf und Loy (2005) oder Loy und Piniadz (2009) werden grundlegende Überlegungen und Ansätze zur Optimierung der saisonalen Getreidevermarktung dargestellt und diskutiert. In diesem Beitrag wird auf einen Teilaspekt fokussiert, bei dem es um die Analyse der qualitätsbedingten saisonalen Preisunterschiede zwischen Brot- und Futterweizen in Schleswig-Holstein und deren Bedeutung für die Vermarktung geht. Auch wenn in der Literatur einige empirische Arbeiten zu qualitätsbedingten Preisaufschlägen vorliegen, so fehlt in diesen Arbeiten doch die Betrachtung der saisonalen Dimension (vgl. Bale und Ryan, 1977; Larue, 1991; Uri und Hyberg, 1996; Espinosa und Goodwin, 1991; Parcell und Stiegert, 2003; Karaman, 2009 sowie Hollins et al., 2006). In diesem Beitrag werden die systematischen Veränderungen der saisonalen Preisaufschläge geschätzt und deren Bedeutung für die Vermarktung diskutiert und simuliert.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut. Nach der Beschreibung der Datengrundlage und einer ersten Betrachtung der saisonalen Preisaufschläge werden einige Argumente zur Erklärung der saisonalen Entwicklung der Preisaufschläge diskutiert. Anschließend werden die Preisaufschläge und deren Erklärungsfaktoren im Rahmen eines ökonometrischen Modells geschätzt. Im letzten Abschnitt werden die Folgerungen für die Vermarktung abgeleitet und deren Bedeutung simuliert. Der Beitrag schließt mit einer kurzen Zusammenfassung.

## **Die Datenbasis**

Bei den hier vorgestellten Analysen werden Daten für die Wirtschaftsjahre von 1994/95 bis 2012/13 verwendet. Es handelt sich zum einen um die Erzeugerpreise für Brot- und Futterweizen in Schleswig-Holstein, die aus der Erhebung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein stammen. Die Preise sind loco

Hofpreise, die durchschnittliche Angaben des Handels darstellen.<sup>7</sup> Die Daten wurden wöchentlich (n = 1042) erhoben. Zum anderen werden Variablen zur Abschätzung der Qualität von Getreide verwendet. Dazu dienen der durchschnittliche Proteingehalt und der Anteil an Getreideproben, die das Fallzahlkriterium von Brotweizen nicht erfüllen. Beide Variablen werden durch das Max-Rubner-Institut erhoben und basieren auf Druschproben der jeweiligen Wirtschaftsjahre. Außerdem wird die Nachfrage nach Brotgetreide in Deutschland verwendet, die durch die Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH erhoben wird. Tabelle 1 enthält einige grundlegende Statistiken.

**Tabelle 1: Beschreibende Statistiken**

| Preisreihen     |                   | Unit   | Mean          | Std. Dev.    | Min.         | Max.          |
|-----------------|-------------------|--------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Brotweizen      | (P <sup>B</sup> ) | (€/mt) | <b>143.37</b> | <b>44.57</b> | <b>90.97</b> | <b>274.00</b> |
| Futterweizen    | (P <sup>F</sup> ) | (€/mt) | <b>135.71</b> | <b>42.15</b> | <b>84.10</b> | <b>258.00</b> |
| Preisauflschlag |                   | (€/mt) | <b>7.66</b>   | <b>6.31</b>  | <b>-1.50</b> | <b>44.00</b>  |

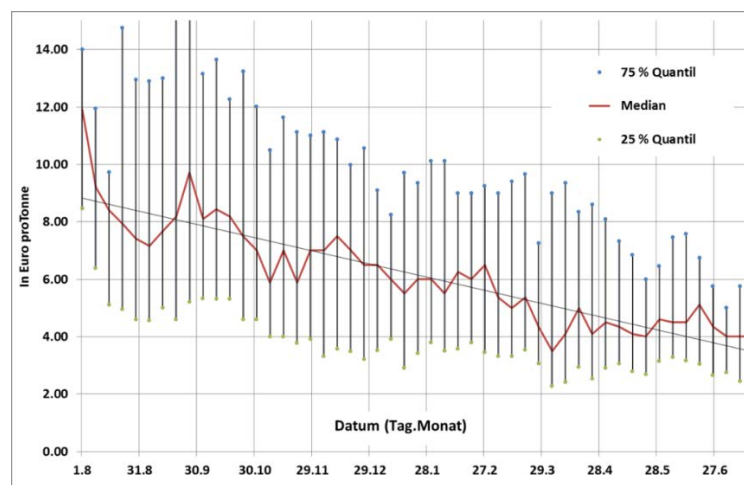
  

|                  |                   |           |              |              |              |              |
|------------------|-------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Proteingehalt    | (Z <sub>1</sub> ) | (percent) | <b>12.96</b> | <b>0.31</b>  | <b>12.40</b> | <b>13.50</b> |
| Fallzahl         | (Z <sub>2</sub> ) | (percent) | <b>15.25</b> | <b>14.06</b> | <b>1.50</b>  | <b>52.30</b> |
| Nachfrage Brotw. | (Z <sub>3</sub> ) | (mio. mt) | <b>6.229</b> | <b>0.526</b> | <b>5.349</b> | <b>7.368</b> |

Quelle: Eigene Berechnungen, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2014; MRI, 2014, AMI/ZMP, 2014.

In Abbildung 1 werden zunächst die durchschnittlichen Preisauflschläge im Zeitraum von 1994/95 bis 2012/13 auf wöchentlicher Basis dargestellt.

**Abbildung 1: Durchschnittliche Preisauflschläge (94/95-12/13) in €/T.**



Quelle: Eigene Darstellung, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2014.

<sup>7</sup> Wir danken der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, namentlich Bernd Irps und Dr. Klaus Drescher für die Unterstützung. Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch für die Großhandelspreisnotierungen in Hamburg erzielen. Weiter Ergebnisse sind auf Anfrage bei den Autoren erhältlich.

Im Mittel des Betrachtungszeitraumes sinkt der Preisaufschlag für Brotweizen einem linearen Trend folgend um mehr als 4 €/T. im Verlauf des Wirtschaftsjahres. Neben diesem klaren Trend ist eine erhebliche Variation zu jedem Zeitpunkt (Woche) zu beobachten, die nur geringfügig im Zuge der Vermarktungssaison zurückgeht.

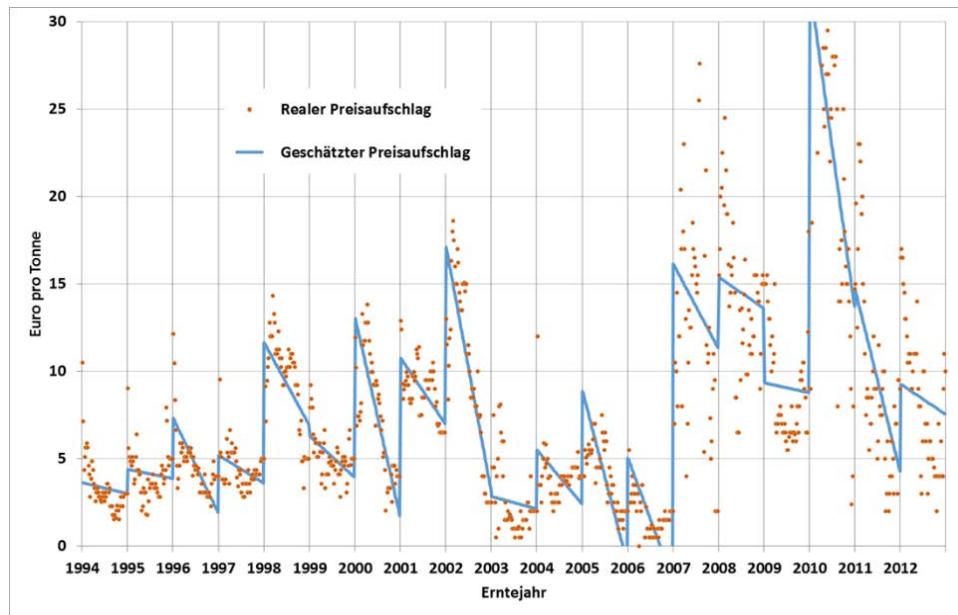
### **Theoretische und empirische Erklärung**

Schleswig-Holstein ist im volkswirtschaftlichen Sinne als kleines Land zu betrachten. Die Preise für Weizen können hier durch regionale Faktoren nur innerhalb der Spanne von Import- und Exportparitätspreis beeinflusst werden. Im Normalfall wird überwiegend Brotweizen produziert und exportiert. Ein größerer Anteil der Ernte wird über Forwardverträge mit dem Landhandel abgesichert. Im Fall einer Ernte unter widrigen Witterungsbedingungen wird ein Teil des geernteten Weizens nicht die Kriterien für Brotweizen erfüllen und muss als Futterweizen vermarktet werden. Das betrifft auch Forward-Kontrakte des Landhandels, die der Deckung von Verpflichtungen gegenüber der Mühlenindustrie dienen. Deshalb muss der Landhandel in solchen Jahren Brotweizen am freien Markt zukaufen. Da dieser bei den Landwirten schon eingelagert ist, ist ein Preisauflschlag zur Kompensation erwarteter Gewinne aus Lagerhaltung nötig. Zudem ist das Angebot von Futterweizen in diesen Jahren am Beginn der Saison hoch. Folglich liegt der Brotweizenpreis nahe dem Importparitätspreis und der Futterweizenpreis liegt nahe dem Exportparitätspreis. Am Ende der Saison ist Futterweizen häufig knapp und Brotweizen fließt in die Produktion von Futtermitteln. Dann liegt der Brotweizenpreis nahe dem Exportparitätspreis und Futterweizen auf Höhe des Importparitätspreises.

Das Niveau der Preisauflschläge wird zudem durch den Proteingehalt, die Fallzahl und die Nachfrage nach Brotweizen bestimmt. Dabei wirkt ein erhöhter Proteingehalt tendenziell negativ, da dies ein erhöhtes Angebot an Brotweizen anzeigt und der Wert von Futterweizen aufgrund des erhöhten Inhaltsstoffes steigt. Die prozentuale Fallzahl wirkt positiv auf den Preisauflschlag, da das Angebot von Brotweizen mit steigender Fallzahl sinkt. Die Brotweizennachfrage wirkt sich ebenfalls positiv auf den Preisauflschlag aus. Diese Hypothesen werden in der empirischen Analyse bestätigt. Es zeigt sich zudem, dass nicht ein einfacher linearer Trend den saisonalen Verlauf bestimmt, sondern der Trend variiert in den Erntejahren in Abhängigkeit der prozentualen Fallzahl. In Jahren mit einer geringen Fallzahl (Qualität) der Ernte steigt der (negative) Trend an. In Abbildung 2 werden die tatsächlichen Preisauflschläge mit der Schätzung aus dem Modell verglichen. Deutlich sind dabei die Unterschiede zwischen den

Trends in den Erntejahren zu erkennen, die sich auch in den realen Daten widerspiegeln. Wie kann der Landwirt auf diese Änderungen in den Preisaufschlägen reagieren?

**Abbildung 2: Geschätzte u. tatsächliche Preisaufschläge (94/95-12/13) in €/T.**



Quelle: Eigene Berechnungen, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2014; MRI, 2014, AMI, 2014.

### **Anpassung der Vermarktung**

Grundsätzliche können die Ergebnisse vielfältige Auswirkungen auf die Produktion und Vermarktung von Weizen haben. Landwirte könnten versuchen, aufgrund der Preisaufschläge bessere Qualitäten zu erzeugen oder diese zu anderen Zeitpunkten zu vermarkten. Generell zeigen die Ergebnisse, dass sich die Lagerhaltung von Futterweizen eher lohnt als die von Brotweizen und folglich unter sonst gleichen Bedingungen Futterweizen später als Brotweizen in der Saison verkauft werden sollte, wenn das Ziel in der Maximierung der erwarteten Gewinns besteht. Zur Lösung dieser Problem sind aber weitergehende Betrachtungen notwendig (siehe Hanf und Loy, 2005 und Loy und Piniadz, 2009). Im Folgenden wird in Bezug auf die Entscheidung über die optimalen Verkaufszeitpunkte angenommen, dass diese bereits bestimmt wurden. Für die Betrachtungen wird unterstellt, dass der Landwirt beide Qualitäten in einem vorgegebenen Verhältnis produziert und auch vermarktet. Die einzige Anpassung, die vorgenommen wird, besteht in einer Verschiebung der Qualitäten zwischen den Verkaufszeitpunkten. So liefert zum Beispiel ein Landwirt in jeder Woche die gleiche Menge an Weizen an den Handel. Dann kann er zunächst den Futter-

weizen liefern oder zunächst den Brotweizen oder er kann zu jedem Zeitpunkt das gleiche Verhältnis der Qualitäten liefern. Bei dieser Betrachtung können Lagerkosten vernachlässigt werden, da diese für alle Strategien gleich hoch sind. Dabei werden gleiche Kosten der Lagerung von Brot- und Futterweizen angenommen. Grundsätzlich zeigen die obigen Ergebnisse, dass dabei die Strategie, den Brotweizen zuerst zu verkaufen, im Mittel die beste (gewinnmaximale) Alternative sein müsste. In Tabelle 2 sind die Strategien für den Zeitraum von 94/95 bis 12/13 simuliert worden. Dabei wird zunächst ein Verhältnis von 50 % Brotweizen und 50 % Futterweizen unterstellt. Der Landwirt verkauft in jeder Woche von September bis Mai die gleiche Menge an Weizen. Verkauft er zu jedem Zeitpunkt beide Qualitäten im gleichen Verhältnis, so ergibt sich ein durchschnittlicher Erlös von 139,71 €/T. Zieht er die Verkäufe von Brotweizen vor und verlagert den Futterweizen nach hinten, so steigt der Erlös unter sonst gleichen Bedingungen um 70 Eurocent pro T. Gegenüber einem Verkauf von zunächst Futterweizen steigt der Erlös sogar um mehr als einen €/T. Das Ergebnis ändert sich nur geringfügig, wenn das Verhältnis zwischen Brot und Futterweizen verändert wird. Wenn die Verkaufsperiode auf den Beginn der Saison und das Ende beschränkt wird, steigen die Differenzen um 100 %. In diesem Fall hätte die „richtige“ gegenüber der „falschen“ Strategie zu einer Erhöhung der Erlöse um über 2 €/T. für jede verkaufte Einheit erbracht.

**Tabelle 2: Ergebnisse für die Simulation der Vermarktung von Weizen**

| Vermarktungsstrategie                   | Ø Erlös in €/T. |
|-----------------------------------------|-----------------|
| Verkauf zu jedem Zeitpunkt (50 / 50)    |                 |
| Beides Futter- und Brotweizen           | 139,71          |
| Erst Futter- dann Brotweizen            | 139,11          |
| Erst Brot- dann Futterweizen            | 140,30          |
| Verkauf zu jedem Zeitpunkt (75 / 25)    |                 |
| Erst Futter- dann Brotweizen            | 141,09          |
| Erst Brot- dann Futterweizen            | 142,18          |
| Verkauf September/Oktober und April/Mai |                 |
| Erst Futter- dann Brotweizen            | 137,12          |
| Erst Brot- dann Futterweizen            | 139,30          |

Quelle: Eigene Berechnungen, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2014; MRI, 2014, AMI, 2014.



Die Anpassung der Vermarktung kann noch weiter verbessert werden, wenn die Volatilität der Preisaufschläge berücksichtigt wird (s. Abb. 2). Dabei wird in jeder Periode geprüft, ob der tatsächliche Preisaufschlag über oder unter dem Mittel der geschätzten Preisaufschläge für die Saison liegt. Wenn zum Beispiel zu Beginn ein hoher Preisaufschlag erwartet wird und diese Erwartung nicht eintritt, kann eine Korrektur der Entscheidung in jeder Woche vorgenommen werden. In einzelnen Jahren können diese Korrekturen eine erhebliche Verbesserung des Erlöses zu Folge haben. In 07/08 hätte diese Korrektur zu einer Steigerung des durchschnittlichen Erlöses von 3 €/T. – anstatt von 1 €/T. ohne Anpassung – gegenüber dem Verkauf beider Qualitäten in allen Wochen geführt (vgl. Tab. 2).

**Tabelle 2: Ergebnisse für die Simulation der Vermarktung von Weizen**

| Verkauf zu jedem Zeitpunkt (50 / 50) | 2007/08 (Ø €/T.) | 2010/11 (Ø €/T.) |
|--------------------------------------|------------------|------------------|
| Beides Futter- und Brotweizen        | 228,65           | 213,95           |
| Erst Futter- dann Brotweizen         | 229,65           | 211,34           |
| Erst Brot- dann Futterweizen         | 227,65           | 216,55           |
| Je nach Marktlage                    | 231,46           | 216,75           |

Quelle: Eigene Berechnungen, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2014; MRI, 2014, AMI, 2014.

### **Zusammenfassung**

Die Preisaufschläge für Brot- gegenüber Futterweizen in Schleswig-Holstein variieren systematisch in der Vermarktungssaison. Der systematische Teil der Variation wird durch den durchschnittlichen Proteingehalt, die prozentuale Fallzahl sowie die Nachfrage nach Brotweizen bestimmt. Der Preisaufschlag weist einen negativen saisonalen Trend auf, der bei hoher prozentualer Fallzahl noch verstärkt wird. In Bezug auf die saisonale Vermarktung ergeben sich daraus folgende Anpassungen. Wenn Weizen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vermarktet werden soll, dann sollte der Verkauf von Brotweizen als erstes erfolgen. Diese Empfehlung verspricht Erfolg insbesondere in Jahren mit ungünstigen Witterungsbedingungen (hohe prozentuale Fallzahlen). Je nach Marktlage ist die Entscheidung in der geplanten Verkaufswoche zu überprüfen; dazu muss der Mittelwert für den Preisaufschlag geschätzt werden. Auch wenn der saisonale Trend den optimalen Verkaufszeitpunkt von Brot- und Futterweizen mit bestimmt, so ist der Einfluss aufgrund der hohen saisonalen Preisschwankungen in den letzten Jahren wahrscheinlich nur gering.

## Literatur

- AMI: Agrarmarkt Informations-Gesellschaft (Ed.) (2012): AMI Marktbilanz Öko-Landbau 2012. Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. Bonn.
- Bale M.D. and M.E. Ryan (1977): Wheat protein premiums and price differentials. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 59, pp. 530 – 532.
- Espinosa J.A. and B.K. Goodwin (1991): Hedonic price estimation for Kansas wheat characteristics. *Western Journal of Agricultural Economics*. Vol. 16(1), pp. 72–85.
- Hanf C.-H. und J.-P. Loy (2005): Getreide lagern und verkaufen: Strategien zur Bestimmung des optimalen Verkaufszeitpunktes. In: *Vorträge zur Hochschultagung 2005. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät*, Heft 104. Kiel. S. 41–50.
- Hollins P.D., P.S. Kettlwell, S.T. Parsons and M.D. Atkison (2006): The impact of supply, demand and grain quality on the UK bread and feed wheat price differential in the UK. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 144, pp. 411–419.
- Karaman S., B. Cetin, A. Oguzlar and K. Yagdi (2009): Hedonic price estimation for the Turkish bread wheat characteristics. *Quality and Quantity*, Vol. 43, pp. 895–902.
- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2012): Weekly price data on feed and bread wheat. Landwirtschaftskammer, Rendsburg.
- Larue B. (1991): Is wheat a homogeneous product. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 39, pp. 103-117.
- Loy J.-P. and A. Piniadz (2009): Optimal Grain Marketing Revisited: A German and Polish Perspective. *Outlook on Agriculture*. Vol. 38 (1): 47-54.
- MRI (Max-Rubner Institute) (various issues): Annual Grain Statistics. Kiel.
- Parcell J.L. and K.W. Stiegert (2003): Factors Affecting Wheat Proteins Premiums. Working Papers 92887, University of Missouri Columbia, Department of Agricultural Economics.
- Uri N.D. and B. Hyberg (1996): The market valuation of wheat quality characteristics. *Journal of Economic Studies*, Vol. 3(3), pp. 44–63.
- ZMP (Zentrale Markt und Preisberichtsstelle) (various issues): Annual Report on Grain and Feed. Bonn.

# **Einbeziehung der Landwirtschaft in die Klimaschutzpolitik: Möglichkeiten und Grenzen**

Uwe Latacz-Lohmann

Institut für Agrarökonomie  
Landwirtschaftliche Betriebslehre und Produktionsökonomie

## **Einleitung**

Mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls von 1997 hat sich die Europäische Union verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis zur Verpflichtungsperiode 2008-2012 um 8% gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Die Bundesregierung hat mit einer Reduktionsverpflichtung von 21% in demselben Zeitraum sich noch ambitioniertere Ziele gesetzt. Das wichtigste umweltpolitische Instrument zur Erreichung der Kyoto-Ziele ist der Handel mit Emissionsberechtigungen, kurz Emissionshandel oder Emissionsrechtehandel. Jede dem Emissionshandel unterliegende Emissionsquelle muss Emissionsberechtigungen für die emittierten Klimagasmengen nachweisen. Diese Emissionsberechtigungen, auch Emissionszertifikate genannt, sind handelbar – zwischen Unternehmen und auch zwischen Staaten. Die Handelbarkeit bewirkt, dass Klimagasemissionen dort vermieden werden, wo dies zu den niedrigsten Kosten möglich ist. Unternehmen mit hohen Vermeidungskosten werden dazu neigen, Emissionsberechtigungen zu kaufen, statt ihre eigenen Emissionen zu hohen Kosten zu reduzieren. Unternehmen mit niedrigen Vermeidungskosten werden dagegen mehr Emissionen (kostengünstig) vermeiden und als Verkäufer von Emissionsberechtigungen auftreten. Dadurch kann ein angestrebtes Reduktionsziel zu niedrigeren volkswirtschaftlichen Kosten erreicht werden als etwa durch eine Auflagenpolitik, die alle Emittenten zu proportionalen Emissionsvermindierungen verpflichtet.

Das 2005 EU-weit eingeführte Emissionshandelssystem betraf ursprünglich ca. 11.000 Unternehmen energieintensiver Branchen. Seit dem 1.1.2012 sind auch Luftverkehrsunternehmen in den Emissionshandel einbezogen. Ursprünglich wurden die Emissionsberechtigungen kostenlos vergeben – nach Maßgabe der emittierten Mengen in einer zurückliegenden Referenzperiode. Mittlerweile müssen die Unternehmen 15% ihrer Emissionsberechtigungen ersteigern. Zuständig ist die Deutsche Emissionshandelsstelle. Die Versteigerungserlöse speisen den Energie- und Klimafonds der Bundesregierung, aus dem unter anderen

die energetische Gebäudesanierung und die E-Mobilität gefördert werden. In den nächsten Jahren soll der Anteil der kostenlos zugeteilten Emissionsberechtigungen sukzessive zurückgefahren werden, bis im Jahr 2027 100% der Emissionsberechtigungen versteigert werden.

Die Emissionen der deutschen Landwirtschaft belaufen sich auf gut 110 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Hierin sind eingeschlossen die Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Quellgruppe 5). Das sind knapp 12% aller Treibhausgasemissionen Deutschlands. Das hört sich zunächst wenig an, ist aber gemessen an der wirtschaftlichen Bedeutung des Sektors Landwirtschaft (unter 1% des Bruttoinlandproduktes) vergleichsweise viel. In anderen Ländern, in denen die Industrie eine geringere Rolle spielt als in Deutschland, ist der Anteil des Sektors Landwirtschaft deutlich höher. In Neuseeland zum Beispiel knapp 50%. Die EU-Landwirtschaft ist bisher in den Emissionshandel nicht einbezogen. Zurzeit besteht noch kein Reduktionsziel für den Agrarsektor, jedoch werden zunehmend Stimmen laut, die eine Integration des Agrarsektors in die Klimaschutzpolitik fordern.

In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten und Grenzen der Einbeziehung der Landwirtschaft in den europäischen Emissionshandel erörtert.

### **Wie kann der Agrarsektor in den Emissionshandel eingebunden werden?**

Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten, die Landwirtschaft in den EU-Emissionshandel einzubeziehen: über eine Volleinbeziehung oder eine Teileinbeziehung.

Bei der Volleinbeziehung nach dem sogenannten Cap-and-trade-Modell wird für den Sektor eine Emissionsobergrenze (Cap) festgelegt und eine entsprechende Anzahl an Emissionsberechtigungen in den Umlauf gebracht, die dann gehandelt werden können (trade). In diesem Modell müsste jeder Landwirt für jede Tonne emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalents eine Emissionsberechtigung nachweisen. Wenn ein Landwirt seine Produktion (und somit Emissionen) ausdehnen möchte, müsste er eine entsprechende Anzahl von Emissionsberechtigungen zukaufen. Bei Emissionsverminderungen (z.B. Abstockung der Milchviehherde) oder Durchführung von CO<sub>2</sub>-Sequestrierungsmaßnahmen (z.B. Aufforstung einer Ackerfläche) könnte er die nicht mehr benötigten Emissionsberechtigungen verkaufen. Dadurch entsteht ein fortwährender Anreiz zur Emissionsminderung.

Die Teileinbeziehung der Landwirtschaft in die Klimaschutzpolitik würde über ein sogenanntes Baseline-and-Credit-Modell erfolgen: Für klar definierte Emissionsminderungs- bzw. Sequestrierungsmaßnahmen unterhalb einer Basismenge (Baseline) können Zertifikate (Credits) generiert und in den Emissionshandel eingespeist werden. Wenn ein Landwirt z.B. eine Kurzumtriebsplantage anlegt

oder eine moorige Grünlandfläche vernässt, würden für die Sequestrierungsleistung bzw. für die vermiedenen Emissionen Gutschriften (Credits) generiert werden, die auf dem Markt für Emissionszertifikate verkauft werden könnten. Das Modell der Teileinbeziehung wird in den USA bereits praktiziert. Dort werden von sogenannten „carbon aggregators“ Emissionsreduzierungen mit Landwirten vertraglich vereinbart (z.B. durch Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitung). Die dadurch generierten Credits werden auf privaten (nicht staatlichen) Kohlenstoffmärkten verkauft.

### **Welchen Nutzen hat der Handel für die Landwirtschaft?**

Wie oben bereits angesprochen führt der Emissionshandel dazu, dass immer die kostengünstigsten Klimaschutzmaßnahmen ausgewählt werden. Auf diese Weise könnte also auch in der Landwirtschaft Klimaschutz relativ kostengünstig realisiert werden. Es ist zurzeit allerdings nicht klar, ob die Landwirtschaft Klimagasemissionen zu niedrigeren Kosten vermeiden kann als andere Bereiche. So gilt etwa die energetische Gebäudesanierung als eine sehr kostengünstige Form der Emissionsvermeidung.

Es steht außer Zweifel, dass eine Volleinbeziehung der Landwirtschaft in den Emissionshandel sich finanziell nachteilig auf die Betriebe auswirken würde: denn nur ein Teil der Emissionsberechtigungen wird kostenfrei zugeteilt. Der andere Teil muss käuflich erworben (ersteigert) werden. Das erhöht die Produktionskosten, mindert die Einkommen und die Wettbewerbsfähigkeit. Dies kann letztlich Produktionseinschränkungen und in der Folge zu Verdrängungs- und Verlagerungseffekten führen: Produktionsmengen, die in Deutschland oder der EU aufgrund des Klimaschutzes nicht mehr produziert werden, werden bei gleichbleibender Nachfrage dann irgendwo anders auf der Welt produziert – im Zweifelsfall auf gerodeten Regenwaldflächen in Südamerika. Damit wäre dem Klimaschutz überhaupt nicht gedient.

Die projektbezogene Teileinbeziehung hätte für die Landwirtschaft dagegen eher Vorteile. Durch den Verkauf der generierten Zertifikate könnten die Kosten der durchgeführten Emissionsminderungsmaßnahmen gegenfinanziert werden. Zurzeit sind die Zertifikatspreise allerdings so niedrig, dass die Kosten nicht gedeckt werden könnten und dass kaum Anreize für weitere Emissionsminderungen vermittelt werden. Viele kritisieren das und fordern eine Verknappung der im Umlauf befindlichen Emissionsberechtigungen, um die Preise zu stützen. Andere sehen die niedrigen Preise als ein Zeichen dafür, dass die Kyoto-Protokoll-Ziele kostengünstig erreicht worden sind.

## **Wäre eine Volleinbeziehung der Landwirtschaft in den Emissionshandel überhaupt umsetzbar?**

Das System wäre sehr schwierig zu administrieren. Allein in Deutschland wären knapp 300.000 Betriebe, in Europa 5.843.000 (EU-15) bzw. 9.687.800 (EU-25) betroffen. Damit handelt es sich im Vergleich zu den bisher einbezogenen Branchen um einen stark disaggregierten Sektor. Hinzu kommt, dass es sich bei landwirtschaftlichen Klimagasemissionen überwiegend um nicht punktförmige Emissionen handelt, deren Quantifizierung teurer und unsicher ist. Wenn Emissionen und Emissionsminderungen sich nicht justiziable messen lassen, besteht die Gefahr von Rechtsstreitigkeiten, die die administrative Umsetzung abermals erschweren.

Alternativ zur Wahl landwirtschaftlicher Betriebe als Adressat der Politik gäbe es die Möglichkeit, den der Landwirtschaft vorgelagerten („upstream“) Vorleistungsbereich, z.B. die Düngemittelindustrie und Futtermittelhersteller, in die Pflicht zu nehmen. Aus administrativer Sicht hätte dies den Vorteil, dass nur eine kleine Zahl von Unternehmen zu administrieren wäre. Diese Unternehmen würden dann die Zertifikatskosten über höhere Preise für ihre Produkte auf die Landwirte überwälzen. Die Landwirte wiederum würden die gestiegenen Preise zu einem sparsameren Umgang mit den jeweiligen Betriebsmitteln veranlassen mit der Folge verringerter Emissionen. Eine weitere Alternative bestünde darin, nachgelagerte Wirtschaftsstufen wie Schlachthöfe, Molkereien oder Mühlen als „downstream“-Erfassungspunkte für die Emissionen heranzuziehen. Die Wahl des Erfassungspunktes in der Wertschöpfungskette entscheidet über vier wesentliche Parameter:

- die Zahl der Handelsteilnehmer,
- den Anteil der Emissionen eines Sektors, der durch das Handelssystem erfasst wird,
- die Zahl und Art der Emissionsminderungsmaßnahmen, für die ein finanzieller Anreiz geschaffen wird,
- den administrativen Aufwand.

Die Berichts- und Nachweispflicht für Zertifikate auf die auf einem höheren Skalenniveau agierenden vor- oder nachgelagerten Bereiche zu übertragen, bedeutet eine Trennung von Emissionsquelle und Position der Emissionsmengenmessung. Dadurch verringert sich die Genauigkeit der Erfassung der Emissionen. Es könnten somit Besonderheiten einzelbetrieblicher Produktionstechnologien, die unterschiedliche Emissionen verursachen, nicht berücksichtigt werden. Beispiel: Mehrphasige Fütterung, die den geringeren Proteinbedarf der Masttiere in der letzten Phase der Mast berücksichtigt, führt zu verringerten N-Ausscheidungen je Tier. Dadurch entsteht Gülle mit einem geringeren Ammoniakgehalt im Vergleich zu einphasiger Mast. Ein verringerter Ammoniakgehalt

von Gülle verursacht verringerte indirekte Lachgasemissionen aus mit Wirtschaftsdünger gedüngten Flächen. Eine pauschale Emissionserfassung auf Ebene des produzierten Tieres am Schlachthof (z.B. durch Verwendung von Emissionskoeffizienten je Tier) unabhängig von der Fütterungsart vermag die fütterungsbedingte Emissionsvermeidung nicht zu erfassen und verringert damit die Zahl der am Emissionsmarkt honorierten Minderungsmaßnahmen. Ähnliches gilt für den Bereich der pflanzlichen Erzeugung: Wählt man die Düngerindustrie als Erfassungspunkt von Lachgasemissionen aus der Flächenbewirtschaftung, schafft man einen Anreiz für die Anwendung von Produktionsverfahren, die weniger N-Dünger beanspruchen oder mit einer gegebenen N-Menge einen höheren Output erzeugen. Eine solche Umsetzung schafft jedoch keinen Anreiz, die Emissionen einer *gegebenen* Menge Dünger zu verringern, beispielsweise durch eine zeitlich besser abgestimmte Ausbringung. Durchschnittliche Emissionsfaktoren, wie sie bisher gemäß IPCC GUIDELINES (1997) für die Emissionsermittlung zur Erstellung des Inventarberichtes in der Landwirtschaft genutzt werden, schaffen somit keinen Anreiz, die Emissionsraten pro Produkteinheit zu verringern.

Die Erfassungsgenauigkeit hängt also davon ab, wie genau Emissionen einzelner Produktionsverfahren gegeneinander abgegrenzt und in der Emissionsberechnung berücksichtigt werden können. Die Stellschrauben sind damit v.a. die genaue Information über die jeweilige Produktionstechnologie des landwirtschaftlichen Betriebes und die Detailliertheit der Emissionsfaktoren. Dies spräche für die Veranlagung auf Betriebsebene. Der Preis für die höhere Genauigkeit ist jedoch ein deutlicher Anstieg der Administrations- und Überwachungskosten.

Dem Problem der zahlreichen kleinen Emittenten im Sektor Landwirtschaft könnte man durch die Einführung einer de minimis-Grenze bezüglich der betrieblichen Emissionsmenge begegnen: erst der Ausstoß von THG oberhalb einer bestimmten Freigrenze bewirkt eine Erfassung durch den Emissionshandel.

### **Hat ein Prinzip der Freiwilligkeit eine Chance (Baseline-and-Credit Model)**

Im Prinzip wäre das Baseline-and-Credit-Modell das einzige der beiden genannten Modelle, das man überhaupt umsetzen könnte. Jedoch besteht hier das Problem, dass die Anreize zur Durchführung und Beibehaltung freiwilliger Emissionsminderungs- oder Sequestrierungsmaßnahmen vom Zertifikatspreis abhängen. Warum sollte ein Landwirt auf einer vernässten Grünlandfläche den Wasserstand weiterhin hoch halten, wenn die dadurch generierten Zertifikate am Markt kaum noch einen Erlös bringen. Somit bietet das Modell keinen verlässlichen Rahmen für nachhaltige Klimaschutzbemühungen. Meines Erachtens sollte die Politik eher das Instrument des Vertragsklimaschutzes anwenden:

Man würde den Landwirt im Rahmen einer vertraglichen Verpflichtung dafür zahlen, seine Grünlandfläche dauerhaft vernässt zu halten. Dieses Modell hat sich ja im Naturschutz gut bewährt. Es auf den Klimaschutz zu übertragen, dürfte ein Leichtes sein. Der Vertragsklimaschutz wäre mit Klimaschutzmaßnahmen des Ordnungsrechtes zu flankieren, wie es sie zum Teil bereits gibt oder diskutiert werden (z.B. Pflicht zur Einarbeitung von Gülle oder zur gasdichten Abdeckung von Güllelageranlagen).

### **Fazit**

Eine Volleinbeziehung der Landwirtschaft in den EU-Emissionshandel wäre administrativ äußerst schwierig und wegen der zu erwartenden Verdrängungs- und Verlagerungseffekte sachlich nicht geboten. Eine Teileinbeziehung über projektbasierte Umsetzung wäre administrativ zwar möglich, jedoch wegen der stark schwankenden Zertifikatspreise nicht unbedingt zielführend. Deshalb wird die Politik wohl eher auf einen Mix aus erprobten umweltpolitischen Instrumenten zurückgreifen – Ordnungsrecht und Vertragsklimaschutz.