

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

## Research Report

Vorträge zur Hochschultagung 2015 "Forschung und Lehre in der Agrar- und Ernährungswissenschaft" der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und zur Verleihung der Ehrendoktorwürde an Prof. Dr. Manfred Schwerin und zur Verleihung des H. Wilhelm Schaumann-Förderpreises an Dr. Gürbüz Daş

Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, No. 122

## Provided in Cooperation with:

Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Universität Kiel

*Suggested Citation:* Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Ed.) (2015) : Vorträge zur Hochschultagung 2015 "Forschung und Lehre in der Agrar- und Ernährungswissenschaft" der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und zur Verleihung der Ehrendoktorwürde an Prof. Dr. Manfred Schwerin und zur Verleihung des H. Wilhelm Schaumann-Förderpreises an Dr. Gürbüz Daş, Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, No. 122, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/121422>

### 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 2015**  
**„Forschung und Lehre in der**  
**Agrar- und Ernährungswissenschaft“**

der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

und

**zur Verleihung der Ehrendoktorwürde**

an

**Prof. Dr. Manfred Schwerin**

und

**zur Verleihung des H. Wilhelm**

**Schaumann-Förderpreises**

an

**Dr. Gürbüz Daş**

**Unredigierte Informationsschrift**

Beiträge in ausschließlicher wissenschaftlicher  
und auch redaktioneller Verantwortung  
der jeweiligen Autoren

## INHALTSVERZEICHNIS

---

	Seite
Professor Dr. Folkhard Isermeyer Thünen-Institut, Braunschweig <b>Agrarforschung im Wandel – Lehren aus der Vergangenheit, Anregungen für die Zukunft</b> Kurzfassung	7
Dr. Arne Poyda, Dr. Thorsten Reinsch, Professor Dr. Friedhelm Taube Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung <b>Klimarelevanz futterbaulich genutzter Böden in der Eider-Treene-Sorge-Niederung</b>	10
Dr. Jan Reent Köster, Professor Dr. Karl Hermann Mühling Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde <b>Spurengasemissionen aus Biogasgärrestlagunen und während der Feldausbringung – Untersuchungen mit Open-Path FTIR</b>	19
Professor Prof. h.c. Dr. Dr. h.c. Rainer Horn, Dr. Heiner Fleige Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde <b>„Macht Euch die Erde untertan 2.0“: Herausforderungen und Potentiale der Bodenkunde im 21. Jahrhundert für eine nachhal- tige Pflanzenproduktion</b>	25
Professor Dr. Tim Diekötter Institut für Natur- und Ressourcenschutz <b>Agrobiodiversität in Raum und Zeit – Einblicke in die Ökologie moderner Agrarökosysteme</b>	35
Dr. Britta Schmalz, Professorin Dr. Nicola Fohrer Institut für Natur- und Ressourcenschutz <b>Das UNESCO-Ökohydrologie-Referenzprojekt Kielstau- Einzugsgebiet – Ökohydrologische Analysen für nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Ausbildung im ländlichen Raum Schleswig-Holsteins</b>	40

	Seite
Dr. Jan Menkhaus, Professor Dr. Daguang Cai Institut für Phytopathologie <b>Erforschung des pflanzlichen Immunsystems: Von der Arbeits- hypothese bis zur Entschlüsselung molekularer Mechanismen</b>	47
Professor Dr. Joachim Krieter, Christina Veit Institut für Tierzucht und Tierhaltung <b>Zum Stand des Schwänzekupierens beim Schwein</b>	55
Professor Dr. Andreas Susenbeth Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie <b>Die neuen Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphy- siologie zur Energie- und Nährstoffversorgung der Pferde</b>	61
Professor Dr. Georg Thaller Institut für Tierzucht und Tierhaltung <b>Tierzucht im Wandel der Zeit: gestern – heute - morgen</b>	64
Professor Dr. Siegfried Wolfram Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie <b>Sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe beim Wiederkäuer syste- misch verfügbar? – Untersuchungen mit dem Flavonol Quercetin</b>	72
Professor Dr. Eberhard Hartung, Dr. Angelika Häussermann Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik <b>Entwicklung und Herausforderungen des tiergerechten maschinellen Milchentzugs</b>	80
Dr. Horst Karl Max-Rubner-Institut, Kiel <b>Pangasius und Co – Qualität und Probleme neuer Fischarten auf dem deutschen Markt</b>	90
Dr. Verena Groth, Professor Dr. Frank Döring Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde <b>Die Fruchtfliege Drosophila melanogaster als Modell in der Er- nährungswissenschaft</b>	96

	Seite
Dr. Stefanie Piegholdt, Professor Dr. Gerald Rimbach Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde <b>Einfluss sekundärer Pflanzenstoffe auf die intestinale Barrierefunktion</b>	100
Juniorprofessorin Dr. Anja Steffen-Heins Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde <b>Lebensmittel mit Zusatznutzen – Herausforderung für die Lebensmitteltechnologie</b>	109
Priv.-Doz. Dr. Silke Thiele Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre <b>Ernährungsmuster in Deutschland: Identifizierung und Analyse von Einflussfaktoren</b>	116
Juniorprofessorin Dr. Anika Wagner Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde <b>Können Nahrungsfaktoren die Integrität unserer Haut beeinflussen?</b>	124
Professor Dr. Uwe Latacz-Lohmann Institut für Agrarökonomie <b>Biogas als Preistreiber am Pacht- und Bodenmarkt: Empirische Analysen für Schleswig-Holstein und Niedersachsen</b>	131
Juniorprofessorin Dr. Birgit Schulze-Ehlers Institut für Agrarökonomie <b>Von der Saat zur Ernte: Agrarstudium und Berufseinstieg</b>	141
Professor Dr. Ulrich Orth, Kristina Haberstroh, MSc Institut für Agrarökonomie <b>Moralische Entkopplung: Ein Erklärungsansatz zum (un)verantwortlichen Handeln von Konsumenten</b>	150

	Seite
Steffi Dierks, MSc Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre <b>Evaluation eines kommerziellen Online- Gewichtsreduktionsprogramms</b>	156
 <b>Verleihung der Ehrendoktorwürde an Professor Dr. Manfred Schwerin und Überreichung des H. Wilhelm Schaumann- Förderpreises an Dr. Gürbüz Daş</b>	
Professor Dr. Georg Thaller <b>Ladatio auf den Preisträger</b>	165
Professor Dr. Manfred Schwerin <b>Dankesworte des Preisträgers</b>	171
Professor Dr. Manfred Schwerin <b>Innovation Tierzucht und -haltung – die künftigen Herausforde- rungen für die Nutztierforschung</b>	175
Professor Dr. Gerhard Breves <b>Laudatio auf den Preisträger</b>	191
Dr. Gürbüz Daş <b>Dankesworte und Kurzvortrag</b>	194

# **Agrarforschung im Wandel – Lehren aus der Vergangenheit, Anregungen für die Zukunft**

Folkhard Isermeyer

Thünen-Institut, Braunschweig

## **Kurzfassung**

Was man der deutschen Agrarforschung gewiss nicht absprechen kann, ist die Bereitschaft zur kritischen Selbstreflexion. So hat sich der Dachverband Agrarforschung schon vor 20 Jahren in mehreren Jahrestagungen sehr gründlich mit interner und externer Kritik auseinandergesetzt, später zogen die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Wissenschaftsrat nach. All diese Analysen aus der Zeit zwischen 1993 und 2006 sind im Kern nach wie vor gültig. Aus heutiger Sicht ist zu konstatieren, dass es teilweise gelungen ist, einen Wandel zum Besseren einzuleiten, teilweise aber auch nicht.

Das Image der Agrarforschung hat sich teilweise verbessert. Die gesellschaftlichen Debatten um Bioenergie, Klimawandel, Biodiversität und Welternährung haben vielen Menschen vor Augen geführt, dass (a) die nachhaltige Nutzung von Feldern, Wäldern und Meeren von existenzieller Bedeutung für die Menschheit ist, (b) die Anforderungen an die globale Agrarwirtschaft im postfossilen Zeitalter steigen werden, (c) die Weltwirtschaft hierfür noch nicht gerüstet ist und (d) wissenschaftsbasierte Lösungen dringend benötigt werden. Die Etablierung des Begriffs „Bioökonomie“ hat den Imagewandel befördert, auch wenn er nicht unumstritten ist.

Die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Einrichtungen der Agrarforschung hat sich, insgesamt gesehen, deutlich verbessert. Vor 20 Jahren wurde die Zersplitterung der Forschungseinrichtungen als eines der Kernprobleme benannt. In der Forschungspraxis kann die Problematik auf Projektebene zumeist durch Kooperation mit anderen Einrichtungen gelöst werden. Aber auch die längerfristig ausgerichtete, strategische Zusammenarbeit machte Fortschritte. Hier ist zum einen auf zahlreiche bilaterale Kooperationen zu verweisen, z. B. zwischen Universitäten und Bundesforschungsinstituten. Zum anderen stellte die Gründung der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA) einen wichtigen Meilenstein dar. In diesem Verbund von über 60 Einrichtungen rückt die gemeinsame Entwicklung von Forschungsstrategien immer stärker in den Mittelpunkt.



Nach wie vor ungelöst ist das Problem verzerrter Anreizsysteme und Auswahlkriterien. Forschung und Lehre im Agrarbereich sollten letztlich darauf ausgerichtet sein, Problemlösungen für die Wirtschaft und/oder für die Politik zu entwickeln. In vielen Fällen kann dies nur gelingen, wenn die Akteure ein hohes Maß an Praxisorientierung, Systemverständnis und Interdisziplinarität entwickeln. Diese notwendige „Breite“ der Konzepte lässt sich nicht ohne weiteres vereinbaren mit der fachlichen „Tiefe“, die erforderlich ist, wenn man wissenschaftliche Spezialmethoden voranbringen und sich hier an der internationalen Spitze seiner Mutterdisziplin (z. B. Biologie, Ökonomie) positionieren will. Idealerweise sollte Agrarforschung beides vereinigen, d. h. die optimale Kombination aus Breite und Tiefe finden. Da ein- und dieselbe Person jedoch nur selten herausragender Generalist und Spezialist zugleich sein kann, besteht die Leitungsaufgabe darin, in den Fakultäten die richtige Mischung aus Generalisten und Spezialisten, aus anwendungsorientierten und methodenorientierten Forschern herbeizuführen.

Dieses Ziel einer „beidfüßigen Aufstellung“ von Agrarfakultäten und Instituten scheint nur schwer erreichbar zu sein, weil Anreizsysteme und Auswahlkriterien einseitig auf die wissenschaftliche Exzellenz ausgerichtet sind. Hier fehlt ein Gegengewicht, welches jene Wissenschaftler belohnen würde, die sich besonders bei der Entwicklung praxistauglicher Lösungen hervorgetan haben. Es ist vorgeschlagen worden, analog zum impact factor auch hierzu Indikatoren zu entwickeln, die dann statistisch ausgewertet werden könnten (z. B. Veröffentlichungen in Praxis-Zeitschriften). Solche Systeme wären jedoch anfällig für Missbrauch, was die Ergebnisse verzerren könnte. Das Alternativ-Konzept besteht darin, eine Jury zu bilden und sich (nach dem Motto „lesen statt zählen“) wieder stärker auf das subjektive Einschätzungsvermögen dieser Fachleute zu stützen. Solche Urteile würden aber nur dann für Berufungsentscheidungen und Fakultätszusammensetzungen relevant werden, wenn eine Universitäts- oder Institutsleitung sie mitträgt. Das erfordert Mut, vom derzeitigen wissenschaftspolitischen „Mainstream“ abzuweichen.

Ebenfalls kritisch zu hinterfragen ist, ob sich die immer stärkere Ausrichtung der Forschungspolitik auf Drittmittel wirklich bewährt hat. Wissenschaftler müssen heute eine enorme Kraft darauf verwenden, Forschungsanträge zu schreiben, andere Forschungsanträge zu begutachten, Zwischen- und Endberichte zu schreiben, sich an den Abrechnungsmodalitäten unterschiedlicher Forschungsförderer abzuarbeiten, usw. Entsprechend wenig Kraft verbleibt, um zielstrebig und beharrlich an umsetzbaren Systemlösungen für die praktische Landwirtschaft zu arbeiten. Die Forschungsförderer erwecken mit ihren ständig wechselnden Programmen den Eindruck, die Forschung wirksam zu steuern; Zweifel sind angebracht. Vielleicht wäre es besser, den Drittmittel-Hype zu be-

enden, die Lehrstühle und Institute einfach wieder besser auszustatten und die Forschungsförderung auf die klassische DFG zu beschränken – nicht zur Messung irgendeiner Exzellenz, sondern ganz schlicht als Hilfestellung, um gute Ideen schneller umsetzen zu können. Diese Anregung hat momentan zwar keine Umsetzungschance, ist aber dennoch wichtig.

Eine letzte Anregung betrifft die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis. Mit den European Innovation Partnerships (EIP) hat die EU eine interessante Innovation auf den Weg gebracht. Es eröffnet sich die Möglichkeit, die landwirtschaftliche Praxis viel stärker in die systematische Erarbeitung von Erkenntnisfortschritten und Innovationen einzubeziehen und den Landwirten die dabei entstehenden Aufwendungen zu erstatten bzw. Risiken finanziell auszugleichen. Die Umsetzung in Deutschland ist allerdings noch nicht geeignet, das volle Potenzial dieses neuen Ansatzes zu erschließen. Insbesondere mangelt es an länderübergreifend abgestimmten Konzepten.

## **Klimarelevanz futterbaulich genutzter Böden in der Eider-Treene-Sorge-Niederung**

Arne Poyda, Thorsten Reinsch, Friedhelm Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
- Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau -

### **Hintergrund und Zielstellungen**

Niedermoore sind aufgrund ihrer hohen Wasserspeicherkapazität und Nährstoffnachlieferung attraktive Standorte für die Landwirtschaft, insbesondere die Grünlandwirtschaft. Eine hohe Produktivität dieser Standorte ist jedoch mit einem vergleichsweise hohen produktionstechnischen Aufwand verbunden. Um die Befahrbarkeit der Flächen und den Anbau futterbaulich wertvoller, aber ökologisch wenig angepasster Arten zu gewährleisten, ist die Instandhaltung einer intensiven Entwässerung, eine ausreichend hohe Nutzungsintensität und Düngung sowie eine regelmäßige Pflege der Grasnarbe notwendig (BENKE & ISSELSTEIN, 2001). Aus diesen Gründen sind naturnahe Niedermoore in Deutschland fast vollständig verschwunden (BYRNE et al., 2004). Aus den großen Mengen an organischer Substanz, die in den Mooren während ihrer Entstehung im Torf festgelegt wurden, ergibt sich durch die Entwässerung ein großes Potential für die Freisetzung der Treibhausgase (THG) Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O). So wurden in Deutschland im Jahr 2012 etwa 41.3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch landwirtschaftlich genutzte Moorböden emittiert, was 4.4 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen sowie 50 % der Emissionen aus landwirtschaftlicher Bodennutzung entspricht (UBA, 2014). Der Extensivierung bzw. vollständigen Wiedervernässung und Renaturierung intensiv genutzter Moorböden wird daher eines der größten THG-Minderungspotentiale im Bereich der Landwirtschaft zugesprochen (SMITH et al., 2008).

Die moorreichen Regionen Deutschlands, wie insbesondere der Nordwesten, werden landwirtschaftlich durch die Milchviehhaltung und die damit assoziierten Grünland- und Ackerfutterbauflächen dominiert (RÖDER et al., 2011). Für die Bereitstellung eines hochwertigen, energie- und proteinreichen Futters, ist eine intensive Bewirtschaftung dieser Flächen notwendig. In Schleswig-Holstein und Niedersachsen wird der Produktionsdruck auf die Niedermoorflächen zusätzlich durch den zunehmenden Bedarf an Ackerflächen auf den umliegenden Mineralböden und die damit verbundenen steigenden Preise

für Land und Pacht erhöht, was eine Extensivierung oder vollständige Nutzungsaufgabe aus betriebswirtschaftlicher Sicht häufig ausschließt. Für Gebiete, die wesentlich zur regionalen Wertschöpfung beitragen, sind im Sinne des Klimaschutzes daher Lösungen anzustreben, die eine Reduzierung der THG-Emissionen ohne eine deutliche Verringerung der Flächenproduktivität erreichen (SMITH et al., 2008).

Ein Maß zur Beurteilung der Klimarelevanz der landwirtschaftlichen Produktion, stellen neben den flächenbezogenen, die produktbezogenen THG-Emissionen dar (GUERCI et al., 2013). Im vorgestellten Projekt wurden dafür die bodenbürtigen THG-Emissionen während der Futtererzeugung erfasst, mit ihrem jeweiligen globalen Erwärmungspotential (engl.: global warming potential, GWP) in der Einheit CO<sub>2</sub>-Äquivalente multipliziert (CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 25, N<sub>2</sub>O = 298; IPCC, 2007) und auf die entsprechende Flächenproduktivität (GJ Nettoenergie Laktation (NEL) ha<sup>-1</sup>) bezogen.

### **Messprogramm**

Über einen Zeitraum von zwei Jahren (April 2012 – März 2014) wurde der Austausch der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O kontinuierlich nach dem geschlossenen Messkammerprinzip (HUTCHINSON & MOSIER, 1981; DRÖSLER, 2005) ermittelt. Die Untersuchungsflächen befanden sich in der Eider-Treene-Sorge-Niederung, dem größten Flussniederungsgebiet Schleswig-Holsteins. Insgesamt wurden vier Flächen mit unterschiedlicher Nutzungsintensität verglichen. Als ungenutzte Kontrolle diente dabei eine 1991 wiedervernässte und 1998 aus der Nutzung genommene Grünlandfläche (Brache), deren THG-Emissionen nicht der Nutzung zugeschrieben werden können und somit die ‚Hintergrundflüsse‘ des Untersuchungsgebietes repräsentieren (Tab. 1). Desweiteren wurden zwei unterschiedlich stark entwässerte und intensiv genutzte Grünlandflächen betrachtet. Etwaige Unterschiede der THG-Emissionen sowie der Produktivität zwischen der intensiv entwässerten (Grünland ‚feucht‘) und moderat entwässerten (Grünland ‚nass‘) Fläche wurden dabei hauptsächlich als Folge der unterschiedlichen Grundwasserstände erwartet (Tab. 1). Außerdem umfasste die Untersuchung eine intensiv entwässerte Ackerfutterbaufläche, auf der im Jahr 2012 Sommergerste als Ganzpflanzensilage (GPS) sowie 2013 Sommerweizen-GPS mit einer Gras-Untersaat angebaut wurde. Zusätzlich zum Grundwasserstand wurde hier ein Einfluss auf die THG-Emissionen durch die Bodenbearbeitung im Frühjahr sowie die fehlende Vegetationsdecke zwischen der Ernte der Gerste und der Aussaat des Weizens angenommen.

## Ergebnisse

Das GWP der Versuchsflächen setzt sich aus den CO<sub>2</sub>-C-Äquivalenten der CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Bilanzen sowie den bewirtschaftungsbedingten C-Bilanzen aus Wirtschaftsdüngerausbringung und Ernteexporten zusammen (Abb. 1). Während die Brachfläche relevante Methanfreisetzungen von durchschnittlich 63.3 kg CH<sub>4</sub>-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> aufwies (14 % des GWP), waren die CH<sub>4</sub>-Emissionen der landwirtschaftlichen Flächen vernachlässigbar. Demgegenüber wiesen alle Flächen relevante N<sub>2</sub>O-Freisetzungen zwischen 3.4 (Brache) und 18.4 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Acker) auf, die jedoch maximal mit 14 % auf der Brach- und Ackerfläche zum GWP beitrugen.

**Tabelle 1:** Standorteigenschaften, Bewirtschaftung und Produktivität der vier Versuchsflächen in der Eider-Treene-Sorge-Niederung im Mittel des Beobachtungszeitraums.

Standort	Brache	Grünland ,nass‘	Grünland ,feucht‘	Acker
C <sub>org</sub> (%) 0 – 30 cm	35.0	37.4	17.9	13.3
d <sub>B</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	0.20	0.32	0.54	0.67
Grundwasserstand (cm) (Min., Max.)	-11 (-56, +8)	-21 (-65, +2)	-33 (-88, +2)	-39 (-88, +2)
Nutzungshäufigkeit	—	2 – 3	3 – 4	1 – 3
Düngung (kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	0	240 – 400	230 – 320	130 – 170
Ertrag (t TM ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	—	9.5	11.5	11.4
Energiedichte (MJ NEL (kg TM) <sup>-1</sup> )	—	6.2	6.3	5.9

Der Nettoökosystemaustausch (NEE) von CO<sub>2</sub> stellt die Bilanz aus der CO<sub>2</sub>-Fixierung durch die Photosynthese und der CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Boden- und Pflanzenatmung dar. Alle vier Beobachtungsflächen wiesen einen positiven NEE und somit einen Netto-Verlust von CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre auf (Abb. 1). Der resultierende Kohlenstoffverlust lag im Mittel der beiden Versuchsjahre zwischen 2,8 (Brache) und 11,7 t CO<sub>2</sub>-C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (GL ,feucht‘) und dominierte dabei mit 59 (Acker) bis 72 % (Brache) das GWP der Versuchsflächen. Bewirtschaftungsbedingte C-Verluste betragen im Mittel zwischen 2.6 (GL ,nass‘)

und  $4.9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Acker) und hatten mit bis zu 27 % des GWP auf der Ackerfläche einen erheblichen Einfluss auf die Klimarelevanz der landwirtschaftlichen Flächen. Die resultierenden Klimabilanzen der Versuchsflächen betragen  $3.8$  (Brache),  $11.7$  (GL ‚nass‘),  $17.7$  (GL ‚feucht‘) und  $17.3 \text{ t CO}_2\text{-C-Äq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Acker). Dabei bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Klimabilanzen des ‚feuchten‘ Grünlands und der Ackerfläche (Abb. 1), die eine vergleichbare Entwässerungsintensität aufwiesen (Tab. 1).

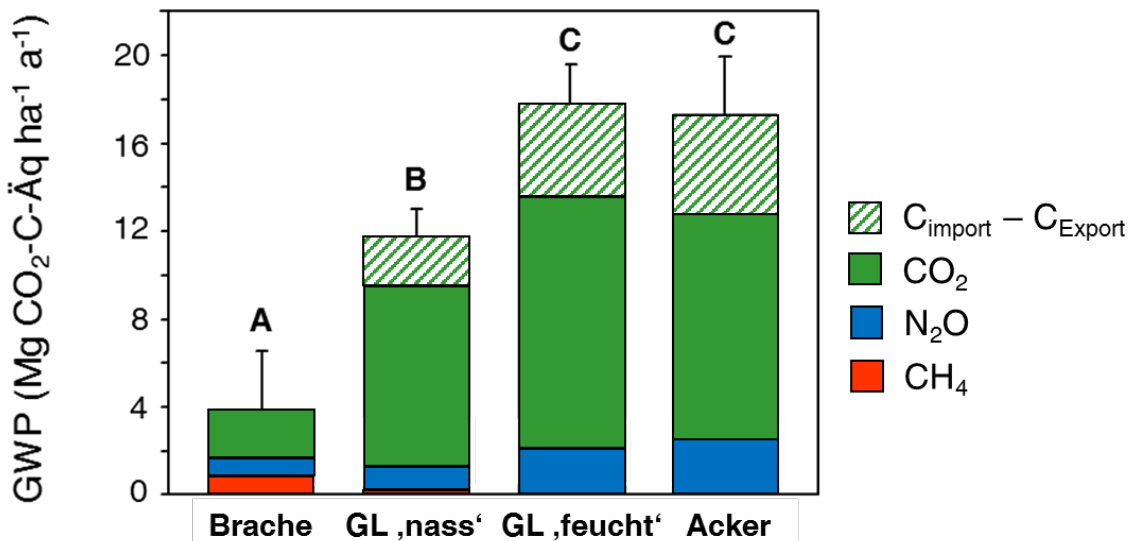
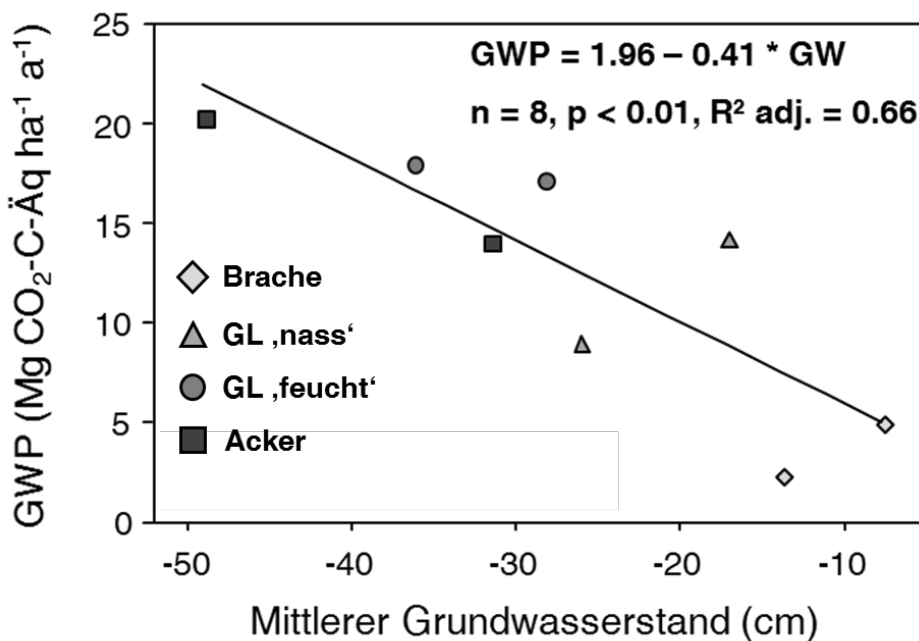


Abbildung 1: Jährliche Klimabilanzen der vier Versuchsflächen in der Eider-Treene-Sorge-Niederung im Mittel des Versuchszeitraumes April 2012 – März 2014. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Flächen ( $p < 0.05$ ).

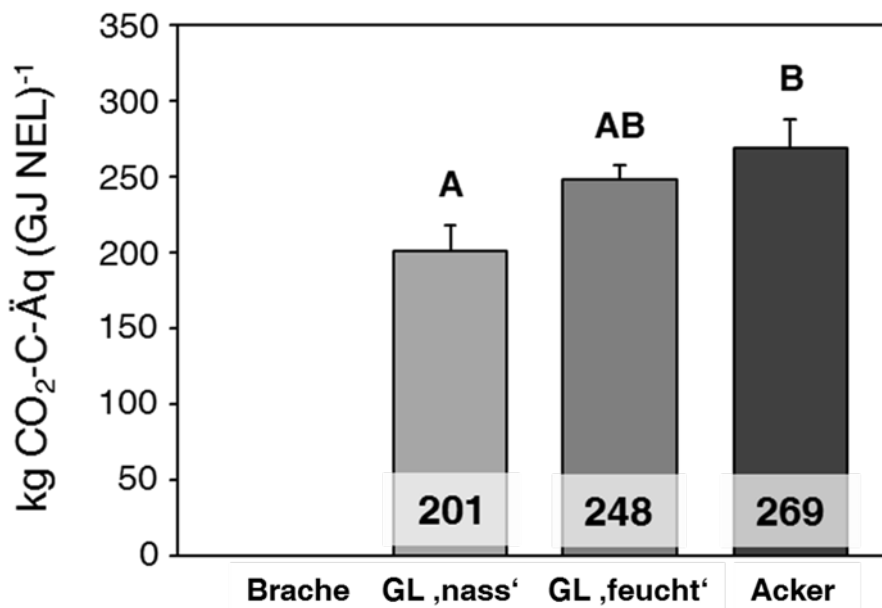
Das GWP der Versuchsflächen wurde signifikant vom mittleren Jahresgrundwasserstand, mit linear zunehmenden Emissionen bei abnehmenden Grundwasserständen, beeinflusst (Abb. 2). Signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsflächen sind danach auf unterschiedliche Entwässerungsintensitäten und weniger auf einen direkten Einfluss der Nutzung zurückzuführen. Entsprechend zeigt die Ackerfläche entgegen der Erwartung keine höheren Emissionen als die intensiv entwässerte Grünlandfläche.

Im Mittel der Jahre 2012 und 2013 betragen die Energieerträge der landwirtschaftlichen Flächen  $58.7$  (GL ‚nass‘),  $72.5$  (GL ‚feucht‘) und  $67.8 \text{ GJ NEL ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Acker), wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Flächen vorlagen. Werden die Klimabilanzen auf die Flächenproduktivität bezogen, so ergeben sich Emissionen zwischen  $201$  (GL ‚nass‘) und  $269 \text{ kg CO}_2\text{-C-Äq (GJ NEL)}^{-1}$  (Acker) (Abb. 3). Insbesondere der Vergleich der beiden Grünlandflächen zeigt, dass bei höheren Grundwasserständen eine klimaschonendere Futterproduktion möglich ist, da die Ertragsreduktion mit 19 % im Vergleich zum

,feuchten‘ Grünland wesentlich geringer ausfiel als die Reduktion des GWP um 34 %. Der Mehrertrag des ,feuchten‘ Grünlands ist demnach mit überproportional erhöhten THG-Emissionen verbunden. Für die Beurteilung der Ackerfläche sei auf unterschiedliche Produktionsverfahren und Witterungen der Jahre 2012 und 2013 hingewiesen. Während eine verspätete Ernte der Sommergerste im nassen Sommer 2012 zu geringen Erträgen führte, konnte im trockeneren Jahr 2013 durch die Ernte des Sommerweizens und zwei nachfolgende Grünland-schnitte ein vergleichsweise höherer Ertrag realisiert werden.



**Abbildung 2:** Zusammenhang zwischen dem globalen Erwärmungspotential (GWP) der vier Versuchsfelder und dem Grundwasserstand im Jahresmittel für den Zeitraum April 2012 – März 2014.



**Abbildung 3:** Ertragsbezogene THG-Emissionen der Beobachtungsflächen im Mittel über zwei Jahre (April 2012 – März 2014). Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Flächen ( $p < 0.05$ ).

### Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die hier vorgestellten Klimabilanzen von Niedermoorböden in der Eider-Treene-Sorge-Niederung basieren auf den ersten direkten Messungen der drei relevanten Treibhausgase in Schleswig-Holstein, die darüber hinaus, aufgrund der verwendeten Messtechnik, mit anderen Untersuchungen in Deutschland und Europa vergleichbar sind. So liegen die ermittelten jährlichen Emissionen von  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  auf einem typischen Niveau für die entsprechenden Nutzungskategorien (COUWENBERG, 2009a; LEPPELT et al., 2014). Demgegenüber sind die  $\text{CO}_2$ -Emissionen im Vergleich zu anderen Studien als sehr hoch einzuordnen (COUWENBERG, 2009b; MALJANEN et al., 2010; DRÖSLER et al., 2013) und machen den weitaus größten Anteil der Klimabilanzen aus. Die sich daraus ergebende hohe Klimarelevanz unterstreicht das große Potential von Klimaschutzprogrammen für die schleswig-holsteinischen Niedermoore.

Die Höhe der Emissionen wird zum Teil von der Bewirtschaftung, in erster Linie jedoch vom mittleren Grundwasserstand beeinflusst. Eine Ackernutzung ist aufgrund der dafür notwendigen tiefen Entwässerung negativ zu bewerten, eine alleinige Umnutzung von Acker zu Grünland ohne Erhöhung der Wasserstände hat jedoch noch keine klimaschonende Wirkung. Zusätzlich ist die Ackernutzung von Niedermoorböden mit einer hohen Ertragsunsicherheit verbunden, wodurch in schlechten Erntejahren sehr hohe produktbezogene THG-Emissionen entstehen können.



Ein um etwa 10 cm höherer mittlerer Grundwasserstand war unter Grünlandnutzung mit signifikant verringerten THG-Emissionen verbunden. Dennoch war auch bei diesen Grundwasserständen von 10 bis 20 cm unter Flur im Jahresmittel eine produktive und qualitativ hochwertige Grundfuttererzeugung möglich. Für eine ausreichende Befahrbarkeit sollten sich die Wasserstände während der Vegetationsperiode jedoch mindestens 30 cm unter Flur befinden (BLANKENBURG et al., 2001). Ist eine direkte Regulierung der Wasserstände nicht möglich, wird bei einem solchen System in der Regel eine Schnittnutzung pro Jahr weniger realisiert. Dem Erhalt einer dichten und futterbaulich wertvollen Grasnarbe kommt somit aus Gründen der Befahrbarkeit und Futterqualität eine besonders große Bedeutung zu. Längere Phasen mit Überstau sind daher zu vermeiden (HAHN-SCHÖFL et al., 2011).

Die Brachfläche zeigt trotz Wiedervernässung sowohl ökologisch als auch den CO<sub>2</sub>-Austausch betreffend keine Kennzeichen eines naturnahen Niedermoors, ist jedoch hinsichtlich der flächenbezogenen Klimabilanz gegenüber den genutzten Flächen als positiv zu bewerten. Für eine Ansiedlung naturnaher Niedermoorvegetation sowie den Aufbau einer CO<sub>2</sub>-Senke ist ein Grundwasserstand anzustreben, der sich ganzjährig in Flurnähe befindet (COUWENBERG et al., 2011).

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass jede mit einer Entwässerung einhergehende Nutzung der Niedermoore zur weiteren Degradierung bzw. zum Torfschwund führt. Langfristig wird die intensive Nutzung der tiefer gelegenen Bereiche im Untersuchungsgebiet immer stärker erschwert und nur unter erheblichem Aufwand, durch den Ausbau der Entwässerungssysteme, aufrecht zu erhalten sein. Es ist daher davon auszugehen, dass die intensive Bewirtschaftung aus einigen Bereichen zurückgedrängt wird, wodurch sich Potentiale für den Klimaschutz und Synergien mit weiteren Ökosystemleistungen, wie dem Wiesenvogelschutz, ergeben. In Abhängigkeit der Grundwasserstände sollten Mosaikstrukturen aus intensiv und extensiv genutzten sowie ungenutzten Bereichen entstehen, um den gesamten gesellschaftlichen Nutzen dieser besonderen Ökosysteme zu erhalten bzw. zu erhöhen.

## **Literatur**

- BENKE, M. ISSELSTEIN, J. (2001): Extensive Landwirtschaft auf Niedermoor-grünland – Probleme und Chancen. In: KRATZ, R. & PFADENHAUER, J.: Ökosystemmanagement für Niedermoore – Strategien und Verfahren zur Renaturierung, 81-91, Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- BLANKENBURG, J., HENNINGS, H. H. & SCHMIDT, W. (2001): Bodenphysikalische Eigenschaften und Wiedervernässung. In: KRATZ, R. & PFADENHAUER, J.: Ökosystemmanagement für Niedermoore – Strategien und Verfahren zur Renaturierung, 81-91, Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

- BYRNE, K. A., CHOJNICKI, B., CHRISTENSEN, T. R., DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., FRIBORG, T., FROLKING, S., LINDROTH, A., MAILHAMMER, J., MALMER, N., SELIN, P.; TURUNEN, J., VALENTINI, R. & ZETTERBERG, L. (2004): EU peatlands: Current carbon stocks and trace gas fluxes. Lund: Concerted Action CarboEurope-GHG.
- COUWENBERG, J. (2009a): Methane emissions from peat soils (organic soils, histosols) – Facts, MRV-ability, emission factors. Wetlands International, Ede.
- COUWENBERG, J. (2009b): Emission factors for managed peat soils – An analysis of IPCC default values. Wetlands International, Ede.
- COUWENBERG, J., THIELE, A., TANNEBERGER, F., AUGUSTIN, J., BÄRISCH, S., DUBOVİK, D., LIASHCHYNSKAYA, N., MICHAELIS, D., MINKE, M., SKURATOVICH, A. & JOOSTEN, H. (2011): Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia*, 674, 67-89.
- DRÖSLER, M. (2005): Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany. Dissertation, Technische Universität München.
- DRÖSLER, M., ADELMANN, W., AUGUSTIN, J., BERGMANN, L., BEYER, C., CHOJNICKI, B., FÖRSTER, C., FREIBAUER, A., GIEBELS, M., GÖRLITZ, S., HÖPER, H., KANTELHARDT, J., LIEBERSBACH, H., HAHN-SCHÖFL, M., MINKE, M., PETSCHOW, U., PFADENHAUER, J., SCHALLER, L., SCHÄGNER, P., SOMMER, M., THUILLE, A. & WEHRHAN, M. (2013): Klimaschutz durch Moorschutz. Schlussbericht des Vorhabens „Klimaschutz – Moorschutzstrategien“, 2006 – 2013.
- GUERCI, M., TRYDEMAN KNUDSEN, M., BAVA, L., ZUCALI, M., SCHÖNBACH, P. & KRISTENSEN, P. (2013): Parameters affecting the environmental impact of a range of dairy farming systems in Denmark, Germany and Italy. *Journal of Cleaner Production*, 54, 133-141.
- HAHN-SCHÖFL, M., ZAK, D., MINKE, M., GELBRECHT, J., AUGUSTIN, J. & FREIBAUER, A. (2011): Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>. *Biogeosciences*, 8, 1539-1550.
- HUTCHINSON, G. L. & MOSIER, A. L. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal*, 45, 311-316.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the International Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LEPPELT, T., DECHOW, R., GEBBERT, S., FREIBAUER, A., LOHILA, A., AUGUSTIN, J., DRÖSLER, M., FIEDLER, S., GLATZEL, S., HÖPER, H., JÄRVEOJA, J., LÆRKE, P. E., MALJANEN, M., MANDER, Ü., MÄKIRANTA, P., MINKKINEN, K., OJANEN, P., REGINA, K. & STRÖMGREN, M. (2014): Nitrous oxide emission hotspots from organic soils in Europe. *Biogeosciences Discussions*, 11, 9135-9182.
- MALJANEN, M., SIGURDSSON, B. D., GUÐMUNDSSON, J., ÓSKARSSON, H., HUTTUNEN, J. T. & MARTIKAINEN, P. J. (2010): Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences*, 7, 2711-2738.
- RÖDER, N., OSTERBURG, B. & NITSCH, N. (2011): Regional differences in the utilisation of organic soils in Germany. *Grassland Science in Europe*, 16, 347-349.
- SMITH, P., MARTINO, D., CAI, Z., GWARY, D., JANZEN, H., KUMAR, P., MCCARL, B., OGLE, S., O'MARA, F., RICE, C., SCHOLE, B., SIROTKENKO, O., HOWDEN, M., MCALLISTER, T., PAN, G., ROMANENKOV, V., SCHNEIDER, U.,

TOWPRAYOON, S., WATTENBACH, M. & SMITH, J. (2008): Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 789-813..

# Spurengasemissionen aus Biogasgärrestlagunen und während der Feldausbringung – Untersuchungen mit Open-Path FTIR

J. R. Köster<sup>1</sup>, A. Pacholski<sup>2</sup>, K. Dittert<sup>1</sup>, H. Kage<sup>2</sup> und K. H. Mühling<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

<sup>2</sup>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

## Einleitung

Biogas-Energie wird in Deutschland und weiteren Europäischen Ländern stark gefördert, um die durch Nutzung fossiler Energieträger verursachten Treibhausgasemissionen zu vermindern (Herrmann and Rath, 2012). Dabei anfallende Gärreste werden zumeist als organische Dünger, ähnlich tierischer Gülle, auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht, um enthaltene Pflanzennährstoffe in den Produktionszyklus zurückzuführen. Jedoch können auch während des Gärrestmanagements (Lagerung und Feldausbringung) erhebliche Treibhausgasemissionen auftreten, die unter Umständen die im Vergleich zu fossilen Energieträgern positive Klimabilanz von Biogasstrom negieren können. Hier sind insbesondere relevante Emissionsmengen an Methan (CH<sub>4</sub>), welches im Vergleich zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) eine 25 mal höhere Klimawirkung aufweist (Stocker et al., 2013), von Lachgas (N<sub>2</sub>O) mit einer rund 300 mal höheren Klimawirksamkeit als CO<sub>2</sub> und seiner Ozonschicht zerstörenden Wirkung (Ravishankara et al., 2009; Stocker et al., 2013), und an Ammoniak (NH<sub>3</sub>), welches kein Treibhausgas darstellt, jedoch zur Eutrophierung von Ökosystemen beiträgt und in Böden zum Teil in Lachgas umgewandelt wird (Sutton et al., 1998; Sutton et al., 2011; Hertel et al., 2013), zu erwarten. In den hier durchgeführten Untersuchungen wurde daher das Hauptaugenmerk auf diese drei Gase gelegt.

Es wurden Spurengasemissionen während der Gärrestausbringung im zeitigen Frühjahr sowie Emissionen aus zwei offenen Gärrestlagunen ermittelt. Bei diesen Untersuchungen wurde die neuartige Open-Path FTIR-Methodik in Kombination mit einem mikrometeorologischen Dispersionsmodell angewendet, die eine parallele berührungslose und kontinuierliche Konzentrationsbestimmung einer ganzen Reihe von Spurengasen auf einem offenen Messpfad erlaubt.

## Material und Methoden

Auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche von 27 ha mit Winterroggen in Schleswig-Holstein wurde in der letzten Februarwoche 2013 zuerst pelletierter Harnstoff in einer Aufwandsmenge von ca. 70 kg Harnstoff-N ha<sup>-1</sup> und im An-

schluss ein Biogas-Gärrest mit einer Aufwandsmenge von  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (entspricht etwa  $53 \text{ kg NH}_4^+\text{-N ha}^{-1}$ ) ausgebracht.

Die Spurengasemissionen aus dieser Fläche wurden ein Tag vor bis sechs Tage nach der Gärrestdüngung kontinuierlich gemessen. Hierzu wurde ein Open-Path Fourier-Transform-InfraRot-Spektrometer (M4411-S, Midac Corporation, Westfield, MA, USA), ausgestattet mit einem 10“-Teleskop in Verbindung mit einer 20“-InfraRot-Quelle am gegenüberliegenden Messpfadende (Messpfadlänge: 70 m; Messpfadhöhe: 1,30 m) eingesetzt. In den Messungen wurden alle 1,2 Minuten 128 FTIR-Scans mit einer spektralen Auflösung von  $0,5 \text{ cm}^{-1}$  gemittelt. Wind- und Wetterinformationen wurden mit einer Wetterstation in der Mitte des Messpfades erfasst, die unter anderem mit einem 3D-Ultraschallanemometer (CSAT3, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA) ausgestattet war.

Aus den aufgezeichneten FTIR-Spektren wurden anschließend mit Hilfe eines *Multi-Atmospheric Layer Transmission-Models* (MALT; Griffith, 1996) quantitativ die Konzentrationen von  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$  ermittelt. Hierbei wird ein gemessenes single-beam FTIR-Spektrum einem auf spektroskopischen Absorptionsparametern aus der *HITRAN*-Datenbank (Rothman et al., 2009; Rothman et al., 2013) basierenden, iterativ neu berechneten synthetischen Spektrum mithilfe eines nicht-linearen Algorithmus unter Berücksichtigung von Umgebungstemperatur und -luftdruck angenähert (Griffith et al., 2012). Hierbei wurden für die Bestimmung der  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen spezifische Absorptionslinien im spektralen Bereich von  $960\text{-}980 \text{ cm}^{-1}$  genutzt, für  $\text{N}_2\text{O}$  im Bereich von  $2150\text{-}2250 \text{ cm}^{-1}$ , und für  $\text{CH}_4$  im Bereich von  $3001\text{-}3140 \text{ cm}^{-1}$ .

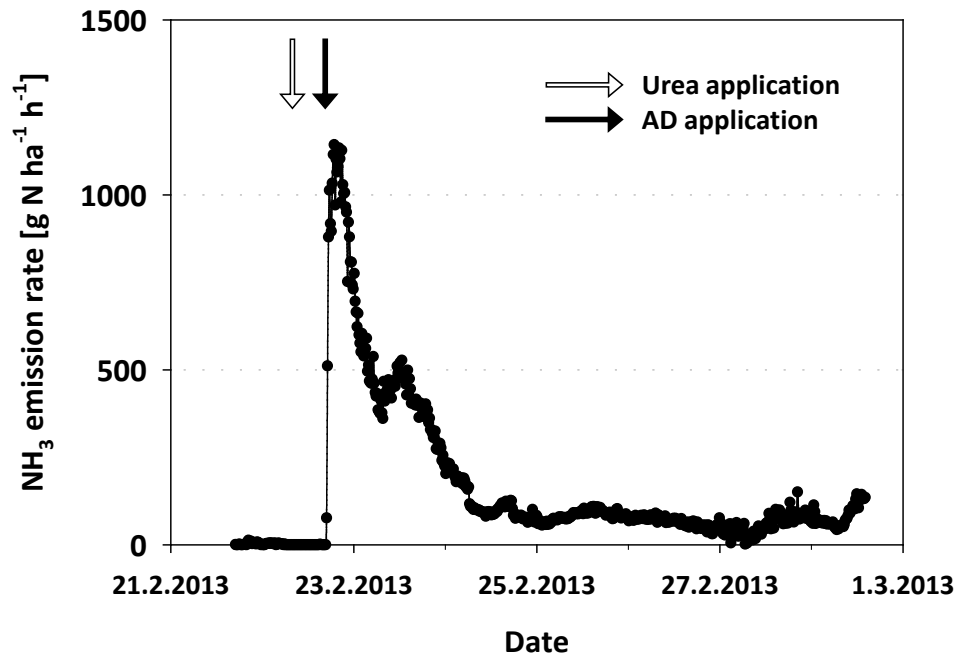
Die Spurengasflüsse wurden anschließend basierend auf den gemessenen Konzentrations- und Wetterdaten mit Hilfe eines mikrometeorologischen Transportmodells ermittelt (Flesch et al., 1995; Flesch et al., 2004).

Die gleiche Methodik wurde auch zur Messung der Spurengasemissionen aus zwei Gärrestlagunen mit jeweils einer Oberfläche von  $1000 \text{ m}^2$  eingesetzt. Da diese Methodik für diese Anwendung so zuvor noch nicht eingesetzt wurde, wurden mehrere Versuche zur Methodvalidierung durchgeführt, in denen bekannte Spurengasmengen über ein Schlauchsystem gleichmäßig auf der Oberfläche einer Gärrestlagune ausgegast wurden, um anschließend die Wiederfindungsrate mit der oben beschriebenen Methodik zu bestimmen.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Das Emissionsgeschehen während der Gärrestaubsbringung und den folgenden Tagen war fast ausschließlich von Ammoniak geprägt. Hier wurden während der betrachteten sechs Tage ab Beginn der Gärrestapplikation rund 40% des enthaltenen Ammoniums in Form von Ammoniak emittiert, was etwa  $21,5 \text{ kg}$

$\text{NH}_3\text{-N ha}^{-1}$  entsprach. Der Großteil dieser Emissionen entfiel hierbei auf die ersten beiden Tage ab Applikationsbeginn (siehe Abb. 1; bzw. Köster et al., 2014a, 2014b). Signifikante Methanemissionen wurden nur direkt während der Gärrestaubsbringung detektiert und wurden auf im Gärrest gelöstes Restmethan zurückgeführt. Lachgasemissionen konnten in diesem Versuch nicht nachgewiesen werden.



**Abbildung 1.**  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Verlust durch  $\text{NH}_3$ -Verflüchtigung nach Gärrestaubsbringung auf oberflächlich gefrorenen Boden im späten Februar 2013; aus Köster et al. (2014a, b).

Die aus den beiden offenen Gärrestlagunen austretenden Spurengasemissionen wurden klar von Methan dominiert (bis zu  $66 \text{ kg Tag}^{-1}$ ), jedoch wurden auch erhebliche Mengen an Ammoniak gemessen (bis zu  $5 \text{ kg Tag}^{-1}$ ). Die Lachgasverflüchtigung war relativ gering und nur bei höheren Emissionen im Sommer nachweisbar. Im Winter wurden im Vergleich zum Sommer nur geringe Methan- und Ammoniakemissionen gemessen, was auf eine geringere mikrobielle Aktivität im Gärrest und somit geringere Methanproduktion sowie geringere Evaporationsraten und damit geringere Ammoniakverflüchtigung zurückgeführt wurde.

Zudem konnte im Versuchsverlauf durch eine Homogenisierung vorhandener Schwimmschichten gezeigt werden, dass sich  $\text{NH}_3$ -Verluste durch natürliche Schwimmschichtbildung um bis zu 80% reduzieren lassen, wobei eine Schwimmschicht keinen signifikanten Einfluss auf die Emission von Methan hatte.

## **Schlussfolgerungen**

Durch die hier durchgeführten Untersuchungen konnten beachtliche Spurengasemissionen während des Gärrestmanagements nachgewiesen werden.

Während der Gärrestausbringung im Winter treten erhebliche Ammoniakverluste auf, vor allem bei der Gärrestausbringung auf gefrorene Böden. Daher sollte auch bei nur oberflächlich gefrorenen Böden auf eine Gärrestausbringung verzichtet werden, um Verluste von Düngerstickstoff zu minimieren.

Während der offenen Gärrestlagerung in Lagunen treten vor allem im Sommer hohe Emissionen von Methan und Ammoniak auf, Lachgasemissionen dagegen sind vergleichsweise gering, wegen der hohen Klimawirksamkeit und der Ozonschicht schädigenden Wirkung von Lachgas aber keinesfalls zu vernachlässigen. Die Treibhausgaswirkung dieser Lagunen-Emissionen entsprach bis zu 60% des CO<sub>2</sub>-Einsparungspotentials von Biogas-Strom. Dies verdeutlicht die Bedeutung von gasdichten Abdeckungen von Biogas-Gärrestlagern zur Verringerung dieser Emissionen. Soweit noch offene Gärrestlager bestehen, sollte eine Zerstörung der Schwimmschicht möglichst vermieden werden, um wenigstens die Ammoniakverluste zu verringern.

## **Danksagung**

Jan Reent Köster dankt der Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Förderung durch ein Promotionsstipendium. Die Etablierung der eingesetzten Messmethodik wurde nur durch die Kooperation und aktive Unterstützung durch Prof. David Griffith (Uni Wollongong, Australien), Dr. Tom Denmead (CSIRO Land & Water, Canberra, Australien) und Prof. Deli Chen (Uni Melbourne, Australien) möglich, wofür wir ebenfalls unseren Dank ausdrücken.

Die Beschaffung der Messinstrumente wurde durch die Innovationsstiftung Schleswig-Holstein gefördert, während das Projekt durch das Ministerium für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein im Rahmen des Verbundprojektes „Biogas Expert“ unter Koordination des Kompetenzzentrums Biomassenutzung Schleswig-Holstein gefördert wurde.

Die beschriebenen Untersuchungen wurden im Rahmen des Verbundprojektes „Biogas Expert“ unter Koordination des Kompetenzzentrums Biomassenutzung Schleswig-Holstein durchgeführt.

## **Literatur**

- Flesch, T.K., Wilson, J.D., Yee, E., 1995. Backward-time Lagrangian stochastic dispersion models and their application to estimate gaseous emissions. *Journal of Applied Meteorology* 34, 1320-1332.
- Flesch, T.K., Wilson, J.D., Harper, L.A., Crenna, B.P., Sharpe, R.R., 2004. Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: A field trial. *Journal of Applied Meteorology* 43, 487-502.

- Griffith, D.W.T., 1996. Synthetic calibration and quantitative analysis of gas-phase FT-IR spectra. *Applied Spectroscopy* 50, 59-70.
- Griffith, D.W.T., Deutscher, N.M., Caldw, C., Kettlewell, G., Riggenbach, M., Hammer, S., 2012. A Fourier transform infrared trace gas and isotope analyser for atmospheric applications. *Atmospheric Measurement Techniques* 5, 2481-2498.
- Herrmann, A., Rath, J., 2012. Biogas Production from Maize: Current State, Challenges, and Prospects. 1. Methane Yield Potential. *Bioenergy Research* 5, 1027-1042.
- Hertel, O., Geels, C., Frohn, L.M., Ellermann, T., Skjoth, C.A., Lostrom, P., Christensen, J.H., Andersen, H.V., Peel, R.G., 2013. Assessing atmospheric nitrogen deposition to natural and semi-natural ecosystems - Experience from Danish studies using the DAMOS. *Atmospheric Environment* 66, 151-160.
- Köster, J.R., Dittert, K., Mühling, K.H., Kage, H., Pacholski, A., 2014a. Cold season ammonia emissions from land spreading with anaerobic digestates from biogas production. *Atmospheric Environment* 84, 35-38.
- Köster, J.R., Dittert, K., Mühling, K.H., Kage, H., Pacholski, A., 2014b. Cold season ammonia emissions from land spreading with anaerobic digestates from biogas production (vol 84, pg 35, 2014). *Atmospheric Environment* 90, 149-149.
- Ravishankara, A.R., Daniel, J.S., Portmann, R.W., 2009. Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 326, 123-125.
- Rothman, L.S., Gordon, I.E., Barbe, A., Benner, D.C., Bernath, P.E., Birk, M., Boudon, V., Brown, L.R., Campargue, A., Champion, J.P., Chance, K., Coudert, L.H., Dana, V., Devi, V.M., Fally, S., Flaud, J.M., Gamache, R.R., Goldman, A., Jacquemart, D., Kleiner, I., Lacombe, N., Lafferty, W.J., Mandin, J.Y., Massie, S.T., Mikhailenko, S.N., Miller, C.E., Moazzen-Ahmadi, N., Naumenko, O.V., Nikitin, A.V., Orphal, J., Perevalov, V.I., Perrin, A., Predoi-Cross, A., Rinsland, C.P., Rotger, M., Simeckova, M., Smith, M.A.H., Sung, K., Tashkun, S.A., Tennyson, J., Toth, R.A., Vandaele, A.C., Vander Auwera, J., 2009. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 110, 533-572.
- Rothman, L.S., Gordon, I.E., Babikov, Y., Barbe, A., Benner, D.C., Bernath, P.F., Birk, M., Bizzocchi, L., Boudon, V., Brown, L.R., Campargue, A., Chance, K., Cohen, E.A., Coudert, L.H., Devi, V.M., Drouin, B.J., Fayt, A., Flaud, J.M., Gamache, R.R., Harrison, J.J., Hartmann, J.M., Hill, C., Hodges, J.T., Jacquemart, D., Jolly, A., Lamouroux, J., Le Roy, R.J., Li, G., Long, D.A., Lyulin, O.M., Mackie, C.J., Massie, S.T., Mikhailenko, S., Muller, H.S.P., Naumenko, O.V., Nikitin, A.V., Orphal, J., Perevalov, V., Perrin, A., Polovtseva, E.R., Richard, C., Smith, M.A.H., Starikova, E., Sung, K., Tashkun, S., Tennyson, J., Toon, G.C., Tyuterev, V.G., Wagner, G., 2013. The HITRAN2012 molecular spectroscopic database. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 130, 4-50.
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Sutton, M.A., Milford, C., Dragosits, U., Place, C.J., Singles, R.J., Smith, R.I., Pitcairn, C.E.R., Fowler, D., Hill, J., ApSimon, H.M., Ross, C., Hill, R., Jarvis, S.C., Pain, B.F., Phillips, V.C., Harrison, R., Moss, D., Webb, J., Espenhahn, S.E., Lee, D.S., Hornung, M., Ullyett, J., Bull, K.R., Emmett, B.A., Lowe, J., Wyers, G.P., 1998.



Dispersion, deposition and impacts of atmospheric ammonia: quantifying local budgets and spatial variability. *Environmental Pollution* 102, 349-361.

Sutton, M.A., Oenema, O., Erisman, J.W., Leip, A., van Grinsven, H., Winiwarter, W., 2011. Too much of a good thing. *Nature* 472, 159-161.

**„Macht Euch die Erde untertan 2.0“:  
Herausforderungen und Potentiale der Bodenkunde im 21. Jahrhundert  
für eine nachhaltige Pflanzenproduktion**

Rainer Horn, Heiner Fleige

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

**Zusammenfassung**

Weltweite Themen, wie eine wachsende Weltbevölkerung und ein damit einhergehender steigender Nahrungsmittelbedarf bei gleichzeitig weltweit abnehmender Produktionsfläche je Einwohner, dazu der bisher nicht eindeutig prognostizierbare Effekt des Klimawandels auf Produktivität, Bodenfunktionsänderungen, Grundwasserneubildung und weiterer Effekte der Atmosphärenbelastung finden momentan in der nationalen aber auch internationalen Diskussion zunehmende Beachtung. Hierzu hat sicherlich auch das seitens der UN für 2015 ausgerufene *Internationale Jahr des Bodens* beigetragen, wodurch auch die breitere Öffentlichkeit auf die Bedeutung des Bodens verstärkt aufmerksam gemacht wurde.

Böden sind als nicht vermehrbare Gut außer für die Pflanzenproduktion und als Filter sowie Puffer für sauberes Grund- und Trinkwasser u.a. auch als Rohstofflieferant erforderlich und sind außerdem historische Zeugnisse der früheren Landnutzung. Die jährlichen Bodendegradationen durch nicht standortangepasste Landbewirtschaftung in Form von Bodenverdichtung, nachfolgender verminderter Infiltration und Belüftung sowie folgender Bodenerosion durch Wasser als auch Wind fordert ein deutliches Umdenken sowohl hinsichtlich der Bewirtschaftungsweise als auch Intensität, denn alleine die pro Kopf der Bevölkerung jährlich auftretende Bodenerosion von ca. 3 Tonnen verursacht ein theoretisches Loch von 2 m<sup>3</sup> pro Person. Steigende Hochwasserhäufigkeit im Zusammenhang mit mittlerem Starkregen im Sommer lassen ebenfalls eine direkte Beziehung zur Bodengefügeveränderung und Abnahme der speicherbaren Wassermenge im Boden erkennen. Bodendegradation als Folge einer mechanisch nicht angepassten Wirtschaftsweise ruft damit nicht nur als Ergebnis verminderter Durchwurzelungsintensität Ertragsunsicherheiten, sondern auch verstärkten Oberflächenabfluss sowie limitierte Gasemission hervor.

In dem folgendem Beitrag werden aufbauend auf die Prozesse zur nachhaltigen standortangepassten Bodennutzung von bodenkundlichen Daten präsentiert.

### **Einleitung:**

Die Diskussion um die standortspezifische Bodennutzung, die Nachhaltigkeit der Bodenbewirtschaftung auch zur Produktion von Nahrungsmitteln für eine weltweit wachsende Bevölkerung auf einer immer kleineren nutzbaren landwirtschaftlichen Fläche wird zunehmend kritisch geführt.

Bodenfunktionen werden durch die zunehmende Bodenverdichtung ( alleine z.B. in Europa bereits auf 35% der Flächen), durch den Verlust an organischer Substanz (auf 45% der landwirtschaftlichen Flächen) beeinträchtigt, ebenso wie durch Wind- und Wassererosion insgesamt ca. 150 Mio. Hektar bereits jetzt irreversibel verloren gegangen sind.

Wenn man berücksichtigt, dass um die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren als Herausforderung im Jahre 2050 der weltweite Getreideertrag eigentlich exponentiell steigen müsste, gleichzeitig aber trotz deutlich gesteigener Mineraldüngerapplikationen eine jährlich abnehmende Steigerung des Ertragszuwachses nachgewiesen ist, so wird deutlich, dass die Böden an ihre Grenzen der nachhaltigen und effektiven Produktivität stoßen.

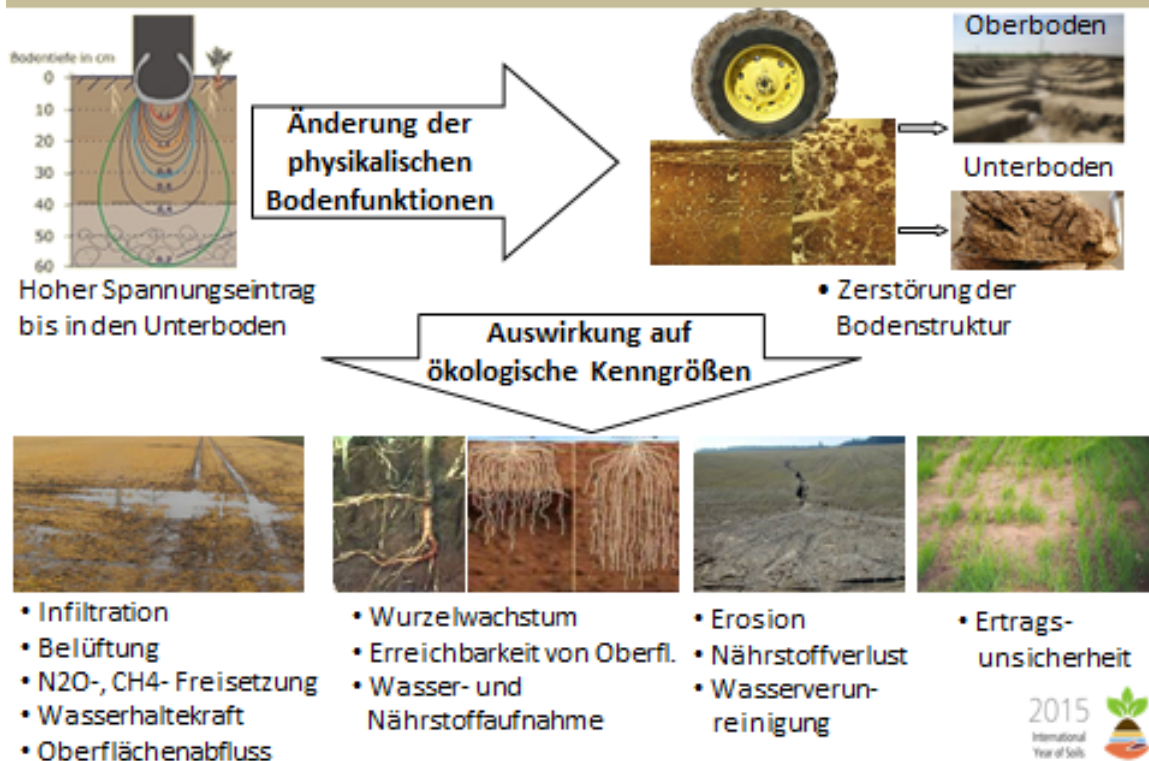
### **Entwicklung der mechanischen Bodenbelastung in der Landwirtschaft – Was ist erlaubt?**

Die Auswirkung des immer höheren Spannungseintrages durch größere und schwerere Landmaschinen führt zu einer intensiveren Druckfortpflanzung und damit einhergehend auch zur Änderung der physikalischen Bodenfunktionen und hat Auswirkungen auf ökologische Kenngrößen.

Abb. 1 zeigt schematisch die Folgen der mechanischen Belastungen auf Bodenfunktionen. Durch eine die Eigenstabilität des Bodens überschreitende mechanische Belastung durch z. B. zu schwere Maschinen, durch schlupfinduzierte Einregelung und Zerschering von Strukturen kommt es nicht nur im Oberboden sondern auch im Unterboden zu einer Zerstörung der Bodenstruktur bis hin zur Plattenbildung mit der Folge, dass auch Infiltration, Belüftung, Gasfreisetzung deutlich sinken, während gleichzeitig die Gefahr des Oberflächenabflusses zunimmt. Außerdem muss mit einem verminderten Wurzelwachstum sowie einer schlechteren Erreichbarkeit der Austauscheroberflächen für Nährstoffe gerechnet werden.

Gleichzeitig wird durch eine erhöhte Bodenerosion und Nährstoffverlust auch eine Wasserverunreinigung in Kauf genommen, abgesehen davon, dass die Ertragsunsicherheit deutlich steigt.

Abb.1: Was sind die Folgen der mechanischen Belastungen



### Prognose der Eigenfestigkeit bzw. Belastbarkeit von Böden

Auf der Grundlage mechanisch eindeutig definierter Kenngrößen und unter Berücksichtigung der strukturabhängigen Festigkeit von land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden ist es möglich, präzise Hofbodenkarten zur Prognose der mechanischen Belastbarkeit im Hinblick auf den langfristigen Erhalt von Bodenfunktionen zu erstellen. Hierbei dient der Wert der Vorbelastung, der die Eigenfestigkeit des Bodens horizontspezifisch und abhängig vom Wasserbindungsgrad als Bezugsgröße. Die Eigenfestigkeit des Bodens ist das Resultat natürlicher (pedogener), geogener, aber auch anthropogener langfristigen Prozesse und ist somit als „Gedächtnis des Bodens“ zu definieren.

Abb. 2 zeigt am Beispiel des Versuchsgutes Lindhof, dass auf Hofbodenkartenniveau für die Tiefe 40 cm bei 2 Vorentwässerungsgraden ( $pF$  1.8 = Frühjahrsfeuchtigkeit) bzw.  $pF$  2.5 (= Sommerfeuchtigkeit), die Festigkeit nicht nur für verschiedene Böden deutlich variiert, sondern außerdem unter trockeneren Bedingungen – wie allgemein anerkannt- die Böden stabiler sind.

Allerdings wird daraus auch deutlich, dass z.B. basierend auf der Bodenkarte hydromorphe Böden nur sehr geringe Werte der Vorbelastung besitzen, während andererseits die terrestrischen Böden eine mittlere Eigenfestigkeit aufwei-

sen. Im Sommer wird durch die zusätzliche Austrocknung der Boden deutlich stabiler, sodass der Wert der Vorbelastung durchschnittlich von dem Frühjahrswert  $<60$  kPa auf deutlich  $>60$  kPa im Sommer steigt.

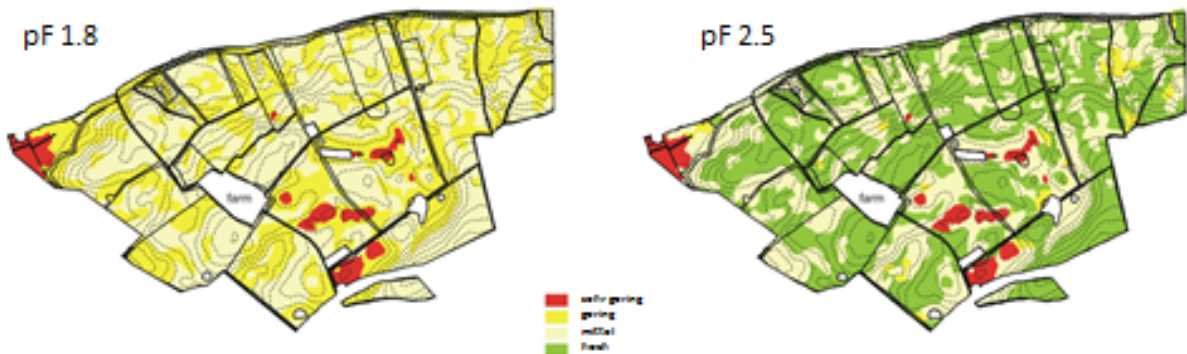
## Abb.2: Eigenfestigkeit oder Vorbelastung des Bodens

Wir haben weltweit geprüfte Ansätze zur Prognose der mechanischen Belastbarkeit in Verbindung mit dem langfristigen Erhalt der Bodenfunktionen!

Hofkartenniveau, Tiefe: 40 cm, pF 1.8 (-60hPa) und pF 2.5 (-300hPa)

Ableitung der Vorbelastung für die Unterbodenwassergehalte pF 1.8 bzw.  $<pF$  1.8 (hydromorphe Böden) (links) und pF 2.5 bzw. pF1.8 (hydromorphe Böden) (rechts) (Unterboden; 40 cm)

Klassifikation der Pv (kPa): sehr gering  $< 30$ , gering 30-60, mittel 60-90, hoch 90-120



Festigkeit

im Frühjahr pF 1.8: meist  $< 60$  kPa,

im Sommer pF2.5 meist  $>>60$ kPa

### Das Vorbelastungskonzept zur Quantifizierung der irreversiblen Verdichtungsgefahr im Unterboden anhand der Änderungen von Bodenfunktionen

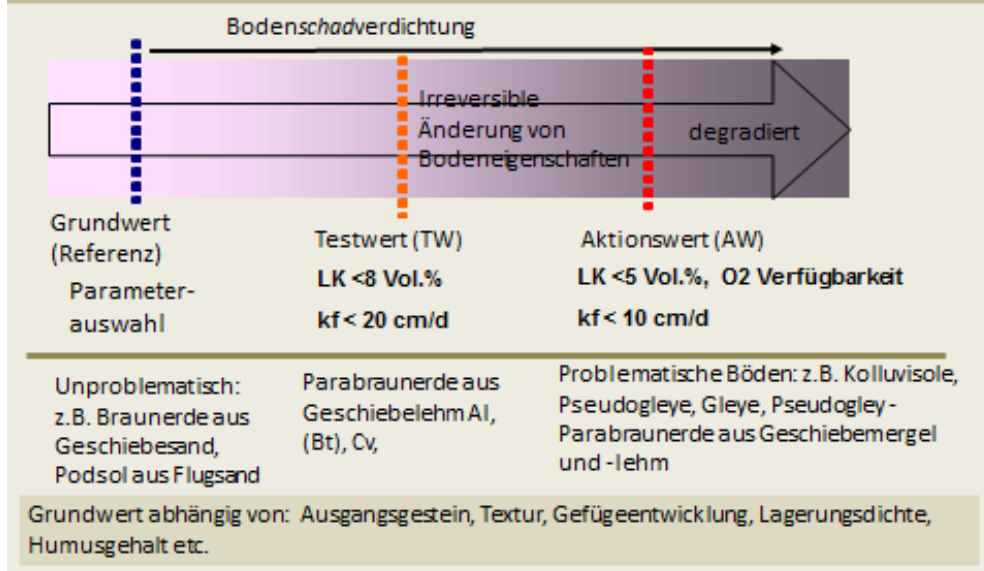
Es ist allgemein bekannt, dass im Vergleich zu einem guten strukturiertem Boden mit hoher Wasserspeicherung und sehr günstiger Permeabilität eine Bodenverdichtung zu einer drastischen Abnahme des Gesamtporenvolumens (Wassergehalt im gesättigten Zustand) und damit verbunden auch zu einer Verminderung der luftführenden Hohlräume bei gleichzeitig höherem Anteil an feineren und damit nicht für die Pflanzen verfügbaren wasserhaltenden Porensystemen führt.

Im Hinblick auf die Einordnung der Gefährdung der Bodenfunktionen vor allem in dem nicht durch Pflugarbeit etc. wieder auflockerbaren Unterboden muss die mechanische Belastung durch z.B. Landmaschinen in Beziehung zur Eigenfestigkeit des Bodens gesetzt werden. Hierbei muss die Druckfortpflanzung im

Boden mit berücksichtigt werden. Generell gilt, dass jede Überschreitung der Eigenstabilität des Bodens bzw. -horizontes in dem Erstverdichtungsbereich mit einer Abnahme der Wasser-/Luftleitfähigkeit bei gleichzeitig deutlich eingeschränkten Gasaustauschverhältnissen und ungünstigeren Redoxreaktionen sowie geänderten mikrobiellen Prozessen und Zusammensetzung einhergeht (Haas et al. 2015). Zur Einordnung dieser Interaktionen zwischen Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen einerseits und der mechanischen Belastung durch Landmaschinen bzw. Bodenbearbeitungsvorgänge dient das Vorbelastungskonzept, mit dem die irreversible Verdichtungsgefahr im Unterboden und damit einhergehende Folgen für die Standortverhältnisse prognostiziert und auch quantifiziert werden können.

Gemäß der Bundesbodenschutzverordnung (1999) werden zur Einordnung der aktuellen Bodenkennwerte die in Abb. 3 definierten Parameter verwendet. Als Grundwert dient das Vorbelastungskonzept, mit der die Eigenstabilität von Böden als Ergebnis der bisherigen Bodenentwicklung in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung, der Bodengenese aber auch der geogenen Bedingungen berechnet werden kann (Horn & Fleige 2003). Dieser Zahlenwert hängt u.a. vom Ausgangsgestein, Textur, Gefügeentwicklung, Lagerungsdichte und Humusgehalt ab und zeigt in sandigen Böden sicherlich geringere Schwankungen als in schluffigen, und besonders lehmigen und tonigen Böden. Die Einordnung von Bodendegradationen z.B. aufgrund der Bodenbefahrung mit zu schweren Maschinen bei zu hoher Feuchtigkeit erfolgt anhand der in der Bundesbodenschutzverordnung (1999) festgelegten 3 Grenzen (Abb.3). Der **Grundwert** kennzeichnet den momentanen Bodenzustand als Ergebnis der vorherigen Prozesse und ist somit dem Gedächtnis des Bodens gleichzusetzen. Vor dem Hintergrund, dass beispielsweise im Erstverdichtungsbereich und besonders bei feinkörnigen Böden hervorgerufene Komprimierungen sehr ausgeprägt sein können, ist die potentielle Ertragsfähigkeit bereits deutlich reduziert. Der **Testwert (TW)** definiert den Zustand, ab dem mit zunehmend negativen Folgen für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung gerechnet werden muss. Ab dem **Aktionswert (AW)** werden schließlich Maßnahmen erforderlich, um weitere bereits zu diesem Zeitpunkt irreversible Veränderungen zu stoppen bzw. um nicht jegliche Chance der Bodenmelioration zumindest sehr langfristig zu verlieren (Horn & Fleige 2009).

**Abb.3: Bestimmung von Boden(schad)verdichtungen anhand von Wasserleitfähigkeit und Luftkapazität in SH**



Als Beispiel für die einzelnen Kennwerte wurden u.a. die Luftkapazität (LK) und die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) zahlenmäßig definiert. Je nach Bodenverhältnissen wird als Testwert z.B. ein Luftkapazitätswert von 8 Vol% bzw. eine gesättigte Wasserleitfähigkeit von kf 20 cm/d herangezogen, während der Aktionswert d.h. der Wert ab dem mit Maßnahmen gerechnet werden muss, für die Luftkapazität bei <5 Vol% und für die gesättigte Wasserleitfähigkeit bei <10 cm/d liegt. Zusätzlich müsste eigentlich die Sauerstoffverfügbarkeit berücksichtigt werden.

Diese Bodenfunktionen und Eigenschaften sind gleichzeitig als kritische Werte für das Pflanzenwachstum zu werten. Daraus ergibt sich auch unmittelbar, dass bei plastischen Verformungen im Erstverdichtungsbereich die Gefahr der Überschreitung des Test- bzw. Maßnahmenwertes sehr groß ist und dann auf jeden Fall mit irreversiblen schädlichen Bodenveränderungen gerechnet werden muss. Geht man einmal davon aus, dass der Grundwert vom Ausgangsgestein, der Textur, der Gefügeentwicklung, Lagerungsdichte sowie dem Humusgehalt u.a. abhängig ist, so kann man auf dieser Basis und der Kenntnis bestehender Bodenverhältnisse bis auf das Hofbodenkartenniveau auch problematische bzw. unproblematische Bodentypen im Hinblick auf die Verdichtungsempfindlichkeit ausweisen. (Abb 3)

Unproblematisch insgesamt sind sicherlich Braunerden aus Geschiebesand und z.B. Podsole aus Flugsand. Dahingegen ist bei Parabraunerden aus Geschiebelehm bei bereits mäßiger Belastung sehr wahrscheinlich der Testwert leicht un-

terschritten. Beispiele für problematische Böden sind Kolluvisole sowie Pseudogleye und Gleye aus Geschiebelehm bzw. -mergel. Bei ihnen führt intensive Belastung unter feuchten Bedingungen sehr leicht zu Situationen bei denen die Aktionswerte als kritisch definiert werden müssen.

Zur Verdeutlichung des Zusammenhanges sind in Abb. 4 die einzelnen Schritte sowie die dabei zu berücksichtigenden Parameter zusammengefasst. Solange der horizont- und Feuchtigkeitsabhängige Wert der Vorbelastung während der Befahrung nicht überschritten und damit der Wiederverdichtungsbereich auflastmässig nicht überschritten wird, kommt es nur zu geringen und vor allem elastischen Verformungen. Hierbei liegt der Quotient aus der in dieser Bodentiefe kompensierend wirkenden Eigenfestigkeit (= Vorbelastung) und aktueller Auflast über  $> 1.2$ . Bei größeren Werten, bleiben z.B. die Porenverteilungen sowie die hydraulische Wasserleitfähigkeit quantitativ erhalten.

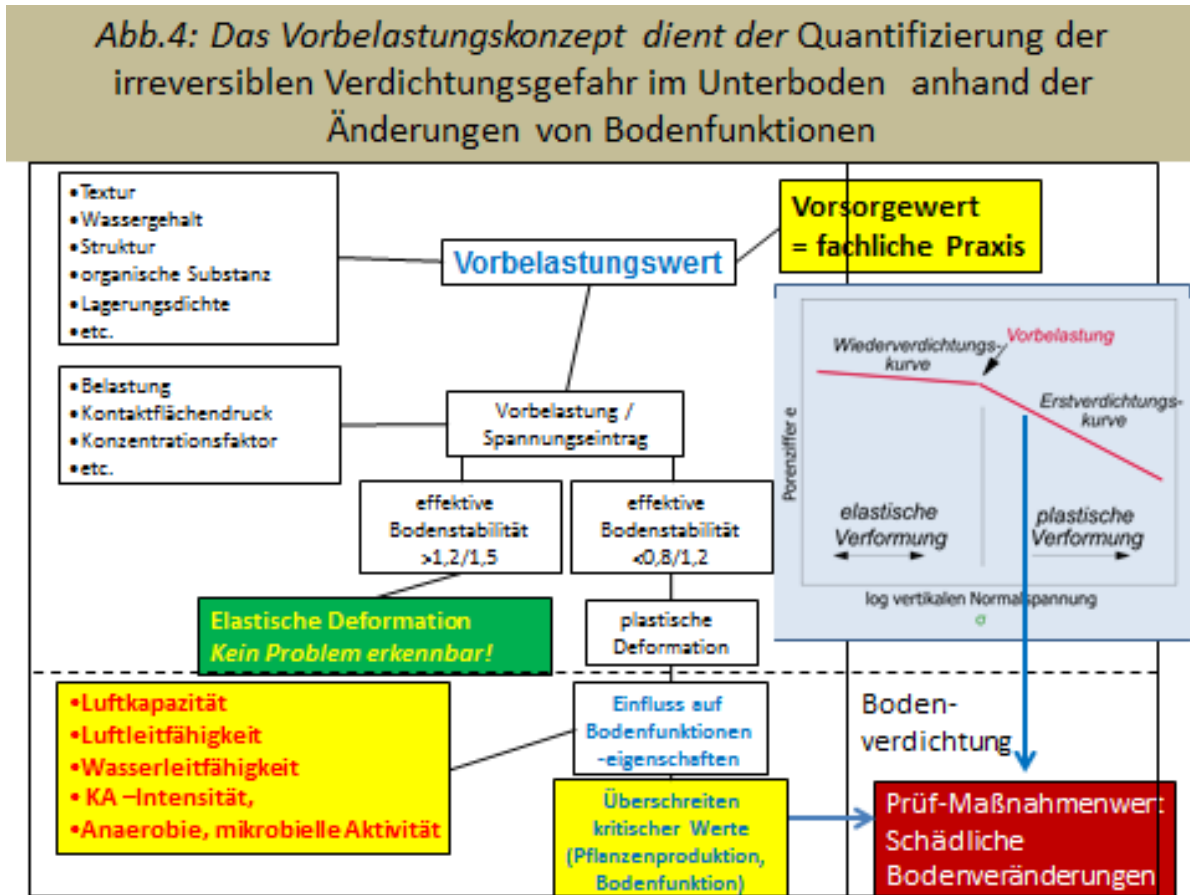
Wenn hingegen die Belastung die aktuelle Eigenfestigkeit überschreitet, muss mit plastischen Verformungen gerechnet werden, womit auch der Prüf- bzw. Maßnahmenwert erreicht bzw. überschritten wird. Die Folge sind schädliche Bodenveränderungen und eine deutlich verringerte Produktivität sowohl hinsichtlich der Pflanzenproduktion als auch der Filter- und Pufferfunktion und somit der Bereitstellung von sauberem Grund- und Trinkwasser. Da hierbei auch mit der Unterschreitung von Aktionswerten gerechnet werden muss, erfordert dies anschließend eine ev. sogar sehr kostspielige Melioration bzw. die Bewirtschaftung derartiger Flächen lohnt nicht mehr.

### **Wie schnell können derartige Veränderungen eintreten?**

Am Beispiel der sehr hochproduktiven Pseudogley-Parabraunerden aus Geschiebemergel wird die Empfindlichkeit gegenüber bleibenden Bodendeformationen durch verschieden intensive Belastungen abschließend nachgewiesen. Im Vergleich mit den definierten Kennwerten zeigte dieser Boden auf dem Versuchsgut Lindhof bei 35% der Meßwerte eine gewisse Bodendegradation vor Beginn der Überrollungsversuche bei eigentlich günstigen, d.h. nicht zu feuchten Bodenverhältnissen. Bereits durch die nachfolgende nur 10 malige Überrollung mit entweder 6.3 Mg oder 7.5 Mg wurden diese günstigen Ausgangsbedingungen deutlich verschlechtert. Ein großer Anteil der entnommenen Stechzylinder wies Zahlenwerte auf, die auf eine deutliche Unterbodenverdichtung hinweisen. Je höher die Auflast umso stärker die Komprimierung und umso stärker verschieben sich die Zahlenwerte. Zur Einordnung der Überfahrigkeit unter Freilandbedingungen liegen diese 10 fachen Überrollungen im jährlichen Mittel. Alleine bei der Maisernte unter sogenannten kontrollierten Überfahrigkeitsbedingungen konnten Duttmann et al. 2014 Maximalwerte von



mehr als 30 Überfahrten der selben Fläche mit gleichzeitig dann auch noch durch die Erntemenge steigenden Auflasten mit entsprechenden GPS-Systemen nachweisen.



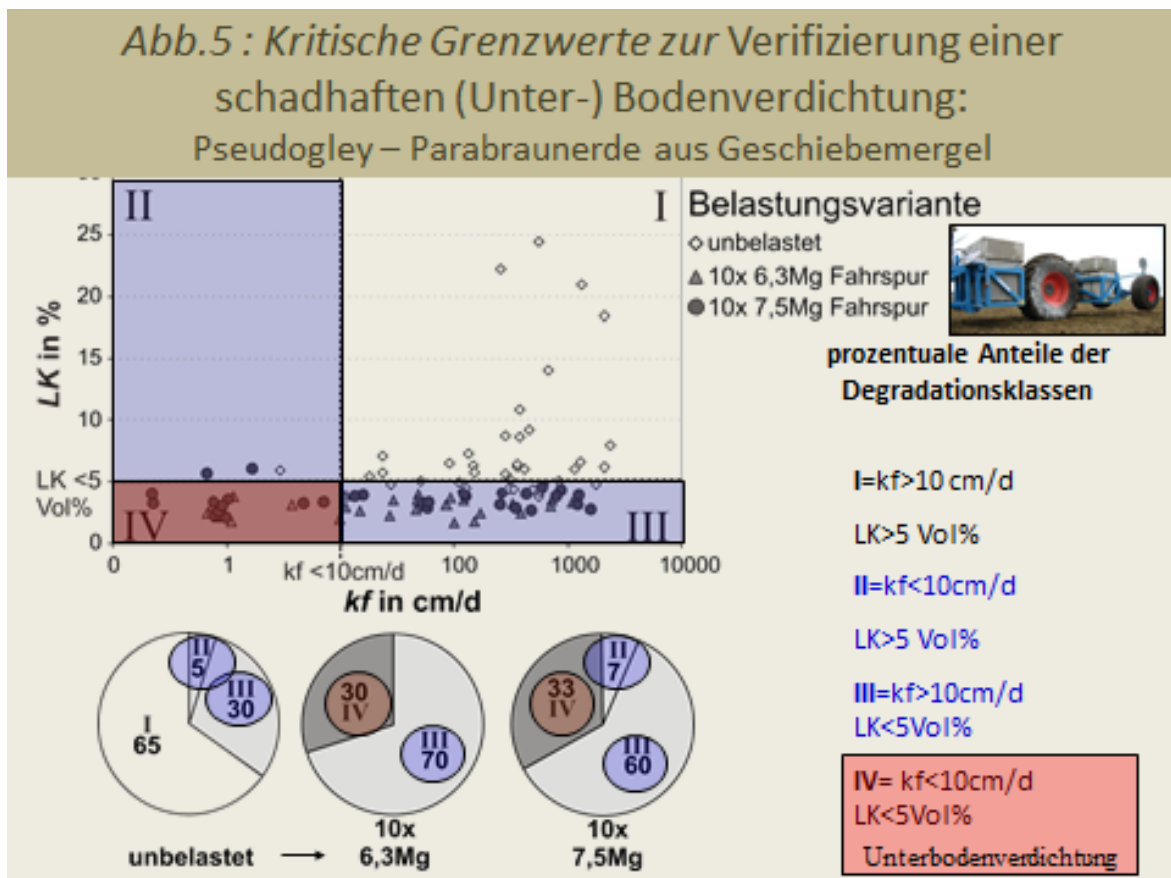
### Gibt es eine schnelle Möglichkeit der Bodenmelioration?

Der häufig diskutierte Wiederauflockerungseffekt in Form der Pflugarbeit bzw. Homogenisierung führt nicht zu den für die Belüftung und für den Gasaustausch ebenso wie für den schnellen Wassertransport erforderlichen Intraaggregatporen, sondern nur zu einer Erhöhung des Gesamtporenvolumens.

Während die Prozesse von der Verdichtung eines sehr gut strukturierten Bodens zu dem verdichteten Zustand unmittelbar und vor allem durch die wiederholte Überfahrt additiv wirksam werden, wird eine Restrukturierung nur über viele Jahrzehnte überhaupt erreichbar sein. Damit ist die Forderung nach einer standortangepassten Bodenbewirtschaftung im Hinblick auf den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und Bodenfunktionen und die Berücksichtigung der standortspezifischen Eigenfestigkeit von größter Bedeutung.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

- 1) Böden sind endliche und nicht vermehrbare Güter. Sie dürfen daher nur entsprechend ihres Potentials belastet bzw. genutzt werden. Die Belastbarkeit ist prognostizierbar und damit auch die Auswirkung einer nicht standortangepassten Bewirtschaftung (verminderte Belüftung, Wasserinfiltration, verstärkter Oberflächenabfluss, Bodenerosion).
- 2) Je intensiver die Bearbeitung (Ackergröße, Grünland) desto größer die Gefahr der nachhaltigen Veränderung der Leitfunktionen. Hinsichtlich der Bewirtschaftungsformen sind besonders konventionell bearbeitete Äcker empfindlicher als konservierend bzw. pfluglos bewirtschaftete Ackerflächen.
- 3) Nur bei langfristiger Berücksichtigung der Eigenstabilität des Bodens können wir deren Funktionsfähigkeit erhalten und verbessern – dies setzt aber voraus, dass wir die Merkmale z.B. der Landmaschinen an die Eigenschaften des Bodens anpassen und nicht umgekehrt!
- 4) Bodenschutz und Nachhaltige Bodennutzung widersprechen sich nicht, sondern gewährleisten einen langfristigen Erhalt der biologischen, physikalischen und chemischen Bodenfunktionen.



## **Literatur**

- Duttmann, R., Schwanebeck, M., Nolde, M., Horn, R. 2014 Predicting Soil Compaction Risks Related to Field Traffic during Silage Maize Harvest. *Soil Science Soc. Amer. J* 78: 2: 408-421
- Haas, C., Holthusen, D., Mordhorst, A., Horn, R., 2015. Elastic and plastic deformation of aggregated soils and its influence on biological activity and emission of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O). *Soil Till. Res.* eingereicht
- Horn, R., Fleige, H. (2003) A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil and Tillage Research*, 73, 89-99.
- Horn, R., Fleige, H. (2009): Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in North-west Germany at farm scale. *Soil and Tillage Res.* 102, 201-208.

# **Agrobiodiversität in Raum und Zeit – Einblicke in die Ökologie moderender Agrarökosysteme**

Tim Diekötter

Institut für Natur- und Ressourcenschutz.  
Abteilung Landschaftsökologie

Europäische Agrarlandschaften stellen ein Mosaik intensiv genutzter Anbaufläche und natur-naher Landschaftselemente dar (Küster 2010; Meeus 1993). Über lange Zeit führte die suk-zessive Öffnung der Landschaft durch landwirtschaftliche Aktivität zu einem Anstieg der Ressourcenvielfalt und folglich der Biodiversität in Agrarlandschaften. Für viele, vormals auf in Mitteleuropa von Natur aus offene Standorte wie Küsten, Flussläufe, Waldlichtungen oder Feldflure beschränkte Arten, eröffneten sich dadurch neue Lebensräume im Binnenland (Hutter et al. 1999). Andere Arten wanderten aus den Steppen Vorderasiens oder dem mediterranen Raum ein. Durch den zunehmenden Einsatz von Maschinen (Meeus 1993), die damit einhergehende Vergrößerung der Schläge und den Wegfall und die Verinselung naturnaher Landschaftselemente (Robinson & Sutherland 2002; Hooftman & Bullock 2012), die zunehmende Ausbringung mineralischer Dünger (Tilman et al. 2001) und die vermehrte Anwendung von Pestiziden (Meehan et al. 2011) verkehrte sich dieser positive Zusammenhang zwischen landwirtschaftlicher Aktivität und Biodiversität mit Beginn der Intensivierung der Landwirtschaft in den 1950iger Jahren ins Gegenteil (Krebs et al. 1999; Stoate et al. 2001; Benton et al. 2003).

Negative Entwicklungen der Artenzahl und Häufigkeit in Agrarökosystemen wurden für eine Vielzahl taxonomischer Gruppen gezeigt, so für Ackerwildkräuter (Sutcliffe & Kay 2000), Vögel (Chamberlain et al. 2000), Säugetiere (Harris et al. 1995), Amphibien und Reptilien (Beebee et al. 2009) sowie Arthropoden (Sutcliffe & Kay 2000). Voraussetzung für eine zukünftig nachhaltige Entwicklung in einer sich immer schneller verändernden Umwelt ist ein umfassendes Verständniss der Konsequenzen räumlicher und zeitlicher Heterogenität für die Biodiversität und damit zusammenhängende Ökosystemfunktionen. Die im Folgenden vorgestellten wissenschaftlichen Studien zu ökologischen Mustern, Prozessen und Funktionen in modernen Agrarökosystemen sollen zu solch einem verbesserten Verständnis beitragen. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf den Wildbienen, deren kontinuierlich abnehmende Diversität in modernen Agrarökosystemen impliziert, dass die Bedingungen in heuti-

gen Agrarlandschaften auch für immer mehr Arten dieser für die Landwirtschaft wichtigen Bestäuber nicht mehr geeignet sind (Biesmeijer et al. 2006).

Die Mooshummel, *Bombus muscorum*, ist eine in Deutschland stark gefährdete Wildbienenart. Sie besiedelt ursprünglich Küstenbereiche und erst mit der landwirtschaftlich bedingten Öffnung der Landschaft auch Feucht- und Sumpfgebiete des Binnenlandes (Tischendorf et al. 2009). Eines ihrer letzten Vorkommen in Hessen ist das landwirtschaftlich intensiv genutzte Amöneburger Becken (Walther-Hellwig & Frankl 2000; Tischendorf et al. 2009). Mit Hilfe eines landschaftsökologischen Ansatzes sollte herausgefunden werden, welche Landschaftscharakteristika es der Mooshummel ermöglichen, in dieser Agrarregion zu überleben (Diekötter et al. 2006). Während systematischer Begehungen von 31 1-km<sup>2</sup> großen Untersuchungsquadranten in der 60 km<sup>2</sup> großen Untersuchungsregion wurden von Juni bis August 2001 insgesamt 7 Königinnen, 44 Arbeiterinnen und 2 Drohnen beobachtet. Von den begangenen 124 Quadranten waren 30 von *B. muscorum* besetzt. Durch Analyse besetzter und unbesetzter Quadranten konnte eine Assoziation der Mooshummel mit offenen und an Gräben reichen Landschaftsbereichen mit traditioneller Rotkleefutternutzung und Brachen nachgewiesen werden. Die Tatsache, dass Arbeiterinnen der Art überwiegend in naher Umgebung (< 100 m) ihres Nestes nach Nahrung suchen (Walther-Hellwig & Frankl 2000), verdeutlicht die Wichtigkeit der räumlichen Nähe essentieller Ressourcen für die Mooshummel. Die etablierte Art-Umwelt-Beziehung belegt, dass die Art ursprünglich insbesondere von der Öffnung der Landschaft durch die Landwirtschaft profitierte. Jedoch scheint auch ihr Rückgang über die letzten Jahrzehnte durch die Landwirtschaft bedingt, indem im Zuge der Intensivierung Nist-habitate entlang von Gräben und insbesondere langkelchige Futterpflanzen traditioneller Anbauformen verloren gehen (Diekötter et al. 2006). Wir schließen daraus, dass das Überleben der Mooshummel in der Agrarlandschaft des Amöneburger Beckens entscheidend von Erhalt und funktioneller Vernetzung der essentiellen Nist-, Nahrungs- und Überwinterungshabitate abhängen wird.

Hat sich die Bedeutung dieser oftmals naturnahen Habitate für die Biodiversität in Agrarlandschaften als weitgehend generell herausgestellt (Billeter et al. 2008), so bleibt festzuhalten, dass die Reaktionen von Arten auf Veränderungen in der Landnutzung eigenschaftsabhängig und nicht immer nur durch einen Verlust an Ressourcen geprägt sind. In ihrem viel diskutierten Artikel zeigten Westphal et al. (2003) einen positiven Zusammenhang zwischen der Abundanz von Hummeln mit der bebauten Fläche Raps in der Landschaft, wohingegen der Anteil naturnaher Landschaftselemente einen solchen Zusammenhang mit der Hummelabundanz vermissen ließ. Bei genauerer Betrachtung wird jedoch ersichtlich, dass es sich bei den Arten, die von der zunehmenden Anbaufläche der

Massentracht Raps, *Brassica napus*, in der Landschaft profitierten, hauptsächlich um die ohnehin häufigen kurzrüsseligen Hummeln handelte. Diese überproportionalen Zuwächse kurzrüsseliger im Vergleich zu langrüsseligen Hummeln und die Tatsache, dass die des Nektarraubs mächtigen kurzrüsseligen Hummeln (Ishi et al. 2008) nach der Rapsblüte alternativer Nahrungsressourcen bedürfen, führten zu einer Zunahme des Nektarraubs an langkelchigen Wildpflanzen mit zunehmendem Rapsanteil in der Landschaft (Diekötter et al. 2010). Gleichzeitig nahm der Anteil langrüsseliger Hummeln mit hohen Rapsanteilen ab. Die Auswirkungen des Landnutzungswandels auf die Zusammensetzung von Hummelgemeinschaften konnten Bommarco et al. (2012) eindrücklich für Südschweden zeigen, wo der Anteil kurzrüsseliger Hummeln von 40% in den 1940iger Jahren auf 89% im Jahre 2010 stieg. Gleichzeitig verringerte sich der Ertrag und dessen zeitliche Variabilität für den langkelchigen Rotklee (Bommarco et al. 2012). Um einer solchen Abhängigkeit von wenigen, mit ähnlichen funktionellen Eigenschaften ausgestatteten Arten, in der Landwirtschaft entgegenzuwirken und die ökonomische bedeutsame wildbienenabhängige Bestäubung von Kultur- (Klein et al. 2007; Garibaldi et al. 2013) und Wildpflanzenarten (Biesmeijer et al. 2006) sowie seltene Arten auch in modernen Agrarökosystemen zu erhalten, bedarf es der unbedingten Sicherung eines noch festzulegenden Anteils naturnaher Habitate.

Landschaftsfaktoren, die Einfluss auf blütenbesuchende Insekten nehmen, bestimmen jedoch nicht nur den Samenansatz in Kultur- und Wildpflanzen, sondern auch Diversitäten höherer trophischer Ebenen. Die Tatsache jedoch, dass Organismen unterschiedlicher trophischer Ebenen unterschiedlich sensibel auf Veränderungen dieser Landschaftsfaktoren reagieren (Tscharntke & Brandl 2004), erschwert eine gesamthafte Bewertung der ökologischen Konsequenzen des globalen Wandels. Um zu einem verbesserten Verständnis der Auswirkungen des Landnutzungswandels auf die Biodiversität in Agrarökosystemen zu gelangen, haben wir Größe, Vernetzung und Matrixqualität von Rotkleehabitaten in einer Modelllandschaft experimentell variiert (Diekötter et al. 2007). Diese experimentelle Variation in Landschaftsstruktur und -komposition hatte direkte und indirekte Effekte auf die Gemeinschaft blütenbesuchender Insekten auf Rotklee, *Trifolium pratense*. So beobachteten wir eine höhere Anzahl Blütenbesuche in kleinen als in großen und in von niedriger als von hoher Matrixqualität umgebenen Rotkleehabitaten. Der direkte Matrixeffekt spiegelte sich im Samenansatz von Rotklee wider und setzte sich entlang der Nahrungskette indirekt auf Samenräuber und deren Gegenspieler fort; mehr Blütenbesuche führten zu erhöhter Samenproduktion, mehr Samen erhöhten das Vorkommen von Wespen, deren Larven sich von Rotkleesamen ernähren und hohe Abundanz dieser Samenräuber führten zu einer erhöhten Präsenz ihrer Parasitoide,

einer weiteren Wespenart. Dieser durch Bestäuber vermittelte Matrixeffekt auf Samen-Samenräuber-Parasitoid-Interaktionen unterstreicht die Notwendigkeit, auch indirekte Landschaftseffekte bei der Abschätzung der ökologischen Konsequenzen eines fortwährenden Umweltwandels zu berücksichtigen.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass der fortschreitende Verlust räumlicher und zeitlicher Heterogenität in modernen Agrarlandschaften das Überleben zwar an die Offenlandschaft angepasster, aber in ihren Habitatansprüchen anspruchsvollen sowie ausbreitungslimitierten Arten gefährdet. Die beobachteten merkmalspezifischen Unterschiede in der Reaktion von Arten auf den Landnutzungswandel – selbst innerhalb eines Taxons – unterstreichen die Notwendigkeit flexibler Strategien zum Schutz der Agrobiodiversität. Dabei gilt es auch zu beachten, dass sich direkte Landschaftseffekte indirekt zwischen interagierenden Arten fortsetzen können. Wir kommen zu dem Schluss, dass nur durch eine Integration landschaftsökologischer Konzepte in die Biodiversitäts-Ökosystemfunktions-Forschung in Agrarökosystemen dasjenige ökologische Verständnis generiert werden kann, das für die zukünftige Sicherung der Biodiversität, der Ökosystemdienstleistungen und des menschlichen Wohlergehens nötig ist.

## **Literatur**

- Beebee TJC, Wilkinson JW, Buckley J (2009) Amphibian declines are not uniquely high amongst the vertebrates: trend determination and the British perspective. *Diversity* 1:67-88
- Benton TG, Vickery JA, Wilson JD (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution* 18:182-188
- Biesmeijer JC, Roberts SPM, Reemer M, Ohlemüller R, Edwards M, Peeters T, Schaffers AP, Potts SG, Kleukers R, Thomas CD, Settele J, Kunin WE (2006) Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313:351-354
- Billeter R, Liira J, Bailey D, Bugter R, Arens P, Augenstein I, Aviron S, Baudry J, Bukacek R, Burel F, Cerny M, De Blust G, De Cock R, Diekötter T, Dietz H, Dirksen J, Dormann C, Durka W, Frenzel M, Hamersky R, Hendrickx F, Herzog F, Klotz S, Koolstra B, Lausch A, Le Coeur D, Maelfait JP, Opdam P, Roubalova M, Schermann A, Schermann N, Schmidt T, Schweiger O, Smulders MJM, Speelmans M, Simova P, Verboom J, van Wingerden W, Zobel M, Edwards PJ (2008) Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology* 45:141-150
- Bommarco R, Lundin O, Smith HG, Rundlöf M (2012) Drastic historic shifts in bumble-bee community composition in Sweden. *Proceedings of the Royal Society B* 279:309-315
- Chamberlain DE, Fuller RJ, Bunce RGH, Duckworth JC, Shrubbs M (2000) Changes in the abundance of farmland birds in relation to the timing of agricultural intensification in England and Wales. *Journal of Applied Ecology* 37:771-788
- Diekötter T, Walther-Hellwig K, Conradi M, Suter M, Frankl R (2006) Effects of landscape elements on the distribution of the rare bumblebee species *Bombus muscorum* in an agricultural landscape. *Biodiversity and Conservation* 15:57-68
- Diekötter T, Haynes KJ, Mazeffa D, Crist TO (2007) Direct and indirect effects of habitat area and matrix composition on species interactions among flower-visiting insects. *Oikos* 116:1588-1598

- Diekötter T, Kadoya T, Peter F, Wolters V, Jauker F (2010) Oilseed rape crops distort plant-pollinator interactions. *Journal of Applied Ecology* 47:209-214
- Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R et al. (2013) Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339:1608-1611
- Harris S, Morris P, Wray S, Yalden D (1995) A review of British Mammals: population estimates and conservation status of British mammals other than cetaceans. JNCC, Peterborough
- Hooftman DAP, Bullock JM (2012) Mapping to inform conservation: a case study of changes in semi-natural habitats and their connectivity over 70 years. *Biological Conservation* 145:30-38
- Hutter C-P, Otte A, Fink C (1999) Ackerland und Siedlungen : Biotope erkennen, bestimmen, schützen. Weitbrecht, Stuttgart
- Ishii HS, Kadoya T, Kikuchi R, Suda S, Washitani I (2008) Habitat and flower resource partitioning by an exotic and three native bumble bees in central Hokkaido, Japan. *Biological Conservation* 141:2597-2607
- Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274:303-313
- Küster (2010) Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa: Von der Eiszeit bis zur Gegenwart. CH Beck, München
- Krebs JR, Wilson JD, Bradbury RB, Siriwardena GM (1999) The second silent spring? *Nature* 400:611-612
- Meeus JHA (1993) The transformation of agricultural landscapes in Western-Europe. *Science of the Total Environment* 129:171-190
- Meehan TD, Werling BP, Landis DA, Gratton C (2011) Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 108:11500-11505
- Robinson RA, Sutherland WJ (2002) Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology* 39:157-176
- Stoate C, Boatman ND, Borralho RJ, Carvalho CR, de Snoo GR, Eden P (2001) Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* 63:337-365
- Sutcliffe OL, Kay QON (2000) Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biological Conservation* 93:1-8
- Tilman D, Reich PB, Knops J, Wedin D, Mielke T, Lehman C (2001) Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science* 294:843-845
- Tischendorf S, Frommer U, Flügel H-J, Schmalz K-H, Dorow WHO (2009) Kommentierte Rote Liste der Bienen Hessens – Artenliste, Verbreitung, Gefährdung. HMU ELV, Wiesbaden
- Tscharntke T, Brandl R (2004) Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology* 49:405-430
- Walther-Hellwig K, Frankl R (2000) Foraging habitats and foraging distances of bumblebees, *Bombus* spp. (Hym., Apidae), in an agricultural landscape. *Journal of Applied Entomology* 124:299-306.
- Westphal C, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T (2003) Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters* 6:961-965



# **Das UNESCO Ökohydrologie-Referenzprojekt Kielstau-Einzugsgebiet – Ökohydrologische Analysen für nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Ausbildung im ländlichen Raum Schleswig-Holsteins**

Britta Schmalz und Nicola Fohrer

Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft  
Institut für Natur- und Ressourcenschutz

## **Einleitung**

Das Verständnis ökohydrologischer Prozesse mit Hilfe von Messungen und Modellierungen innerhalb von Flusseinzugsgebieten ist die Basis für nachhaltiges Landmanagement und Wasserbewirtschaftung. Im internationalen hydrologischen Programm der UNESCO ist die Ökohydrologie ein Schwerpunktthema. Dazu wurden Referenzprojekte (UNESCO 2011) benannt, in denen ökohydrologische Grundprinzipien demonstriert werden. Ziele der Referenzprojekte sind die Analyse und das Prozessverständnis ökohydrologischer Zusammenhänge, die Ableitung von Politik- und Managementrichtlinien und die Zusammenarbeit aller Akteure und Interessengruppen für deren Umsetzung. Im Jahr 2010 wurde das Kielstau-Einzugsgebiet im Norden Schleswig-Holsteins als Referenzprojekt in der Kategorie ‚Operationales Projekt‘ als erstes deutsches Gebiet anerkannt.

## **Untersuchungsgebiet**

Das etwa 50 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet der Kielstau befindet sich in der Jungmoränenlandschaft des Östlichen Hügellandes südöstlich von Flensburg (Abbildung 1). Das ländlich geprägte Tieflandgebiet wird hauptsächlich als Acker- und Grünland genutzt. Die Kielstau hat eine Länge von etwa 17 km und fließt zusammen mit der Bondenau in den Treßsee, wo die Treene ihren Ursprung hat. Der natürliche Wasserhaushalt wurde durch zahlreiche Flussbegradigungen und Dränagesysteme verändert. Der Stoffhaushalt wird durch diffuse Einträge aus der Landwirtschaft sowie punktuelle Quellen wie z.B. Kläranlagen beeinflusst. Seit 1985 stehen hydrologische Daten des Gewässerkundlichen Mess- und Beobachtungsdienstes (Abbildung 2) und seit 2005 zusätzlich ein detailliertes Messprogramm der Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft der CAU Kiel zur Erfassung der Wasserqualität zur Verfügung. Beide Datengrundlagen werden zum Prozessverständnis sowie zum Testen und zur Weiterentwicklung von

ökohydrologischen Modellansätzen verwendet (Fohrer & Schmalz 2012, Schmalz & Fohrer 2010).

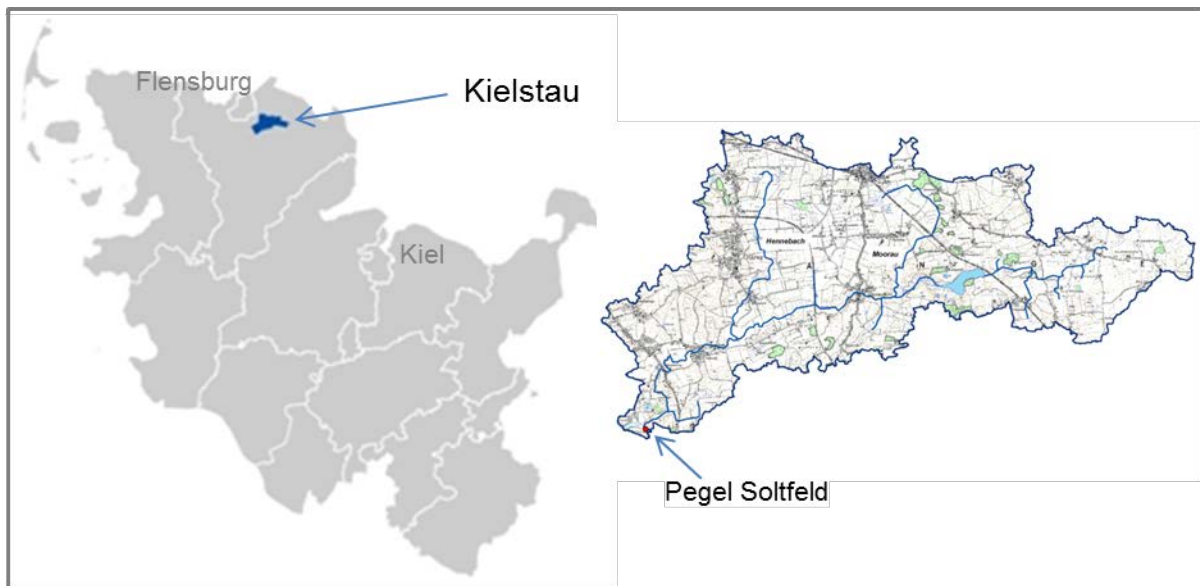


Abbildung 1: (links) Lage des Kielstau-Einzugsgebiets in Schleswig-Holstein, (rechts) Kielstau-Einzugsgebiet mit Pegel Soltfeld (nach LVerMA 2005)

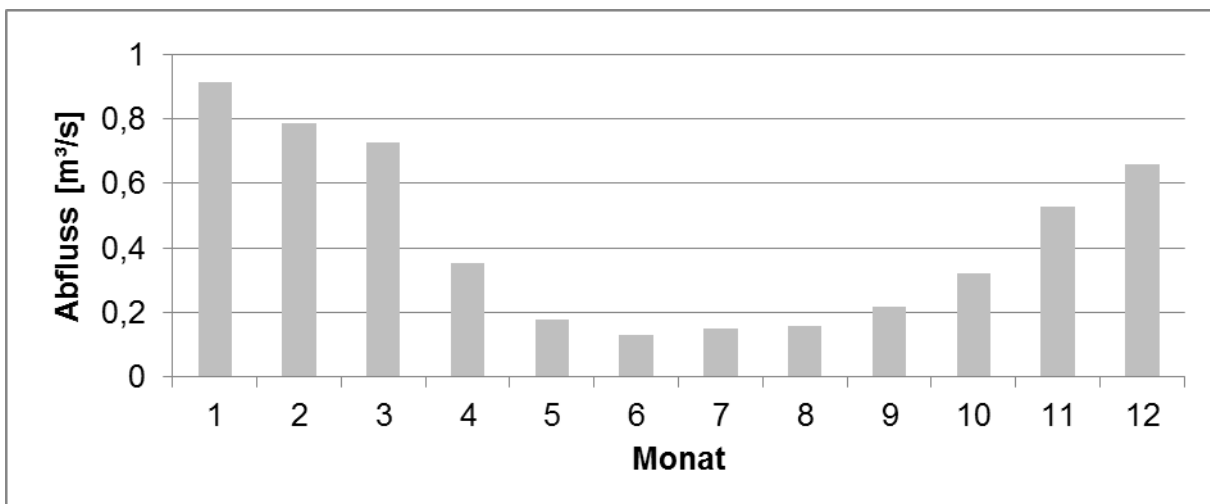


Abbildung 2: Mittlere monatliche Abflüsse der Kielstau (in  $m^3/s$ ) am Pegel Soltfeld (1986-2013, Datenquelle: LKN 2014)

### Forschung und Lehre

Zielsetzung im Referenzprojekt Kielstau-Einzugsgebiet ist die ökohydrologische Analyse als Basis für ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement und für nationale und internationale Ausbildung und Lehre in einem ländlichen Tieflandgebiet. Dabei wird der enge und offene Dialog mit den lokalen Akteuren und Interessengruppen gesucht und praktiziert.

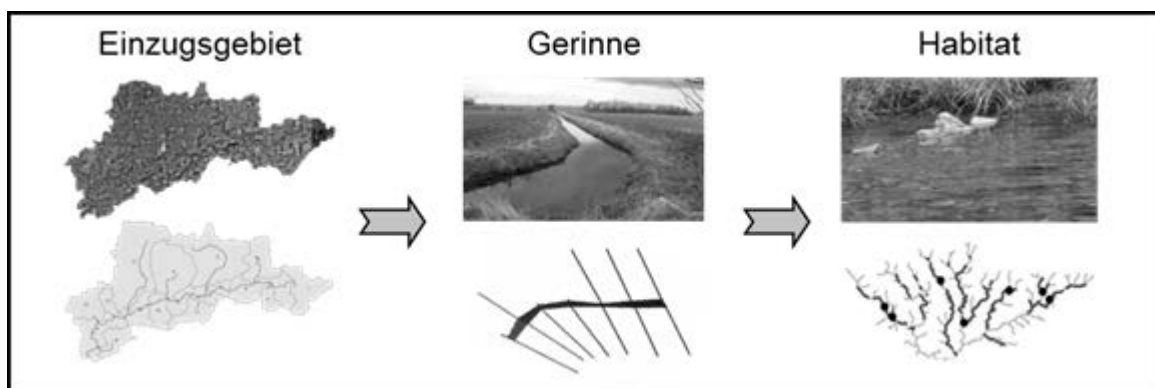
*Tabelle 1: Messungen und erfasste hydrologische Parameter im Kielstau-Einzugsgebiet seit 2005 durch die Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft der CAU Kiel*

<b>Messtandort</b>	<b>Parameter (und Zeitraum)</b>
Pegel, Gebietsauslass	Wasserstand und Fließgeschwindigkeit (seit 2006), in-situ-Parameter (seit 2005), Nährstoffe (N, P, Cl, SO <sub>4</sub> ) und suspendiertes Sediment (seit 2006), Herbizide (2008-2009), Chlorophyll-a (2009-2010), Diatomeen (seit 2013), Fließgewässermorphologie (2008)
Längsschnitte (einschließlich Pegel)	Fließgeschwindigkeit und Wasserstand (2005-2006), in-situ-Parameter (2005-2007), Wasserqualität (N, P, Cl, SO <sub>4</sub> : 2005-2007; P: 2010), Diatomeen (2008-2010), Makroinvertebraten (2008, 2009)
Dränierter Grünlandstandort (Flussniederung)	Wasserstand und Wasserqualität in Gräben und Grundwasser (2005-2008, 2010-2012), Tracer (2010-2012), Bodenfeuchte (2013-2014), Sickerwasser (2013-2014)
Dränierter Ackerstandorte	Herbizide (2008-2009, 2013), Diatomeen (seit 2013), Bodenfeuchte (2013-2014), Sickerwasser (2013-2014)
Dränageteich	Wasserstand, Abfluss, Wasserqualität (N, in-situ-Parameter) (2012-2013)
Winderatter See, Zu-/Ablauf	in-situ-Parameter und Wasserqualität (N, P, Cl, SO <sub>4</sub> , BSB5: 2006; N, P, Cl, SO <sub>4</sub> , Chl-a, BSB5: 2012), Sediment (2012)
Moorau	Wasserstand Pegel (seit 2007), in-situ-Parameter und Wasserqualität Pegel (2007-2009) und Längsschnitte (2007-2008), Sediment (2007), Fließgeschwindigkeit (2007-2008)
Dränagen	Abfluss, in-situ-Parameter, susp. Sediment und Wasserqualität (P: 2009), Wasserqualität (in-situ-Parameter, N, P, Cl, SO <sub>4</sub> : 2013)

Das Einzugsgebiet dient als Anschauungs- und Trainingsgebiet, z.B. für Exkursionen und Geländeübungen. Studierende lernen durch Geländebegehungen das Verständnis von Landschaftsprozessen, und sie können unter Anleitung die Kenntnis von Messinstrumenten und -methoden erlangen. In den letzten zehn Jahren wurden dort zahlreiche Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten sowie Projekte durchgeführt, die verschiedenste Messkampagnen beispielsweise zur Erfassung von Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten, Nährstoffen, Sediment, Pflanzenschutzmitteln und biologischen Parametern umfassen (Tabelle 1). Dabei wurden einerseits kontinuierliche Messungen am Pegel am Gebietsauslass sowie andererseits räumlich verteilte Kampagnen im Rahmen von Abschlussar-

beiten oder Projekten durchgeführt. Anschließende Analysen und Auswertungen benötigen neben langjährigen kontinuierlichen Messdaten außerdem jedoch räumlich verteilte Daten für die Ableitung von räumlichen Variabilitäten, Nährstoffquellen und -eintragspfaden. Als Beispiele können die Untersuchungen der Interaktion zwischen Oberflächen- und Grundwasser (Schmalz et al. 2008b, 2009) sowie des Einflusses von Zuflüssen auf die Wasserqualität der Kielstau (Schmalz et al. 2008a) genannt werden. Die Messdaten dienen dann auch als Eingangs-, Kalibrierungs- und Validierungsparameter für Modelle. Im Rahmen der Lehre werden in Lehrveranstaltungen ökohydrologische und hydraulische Modelle gemeinsam aufgesetzt und Praxisbeispiele berechnet.

Weiterhin sind die Modelle Gegenstand und Werkzeug in der hydrologischen Forschung. Sie dienen dazu, das Prozessverständnis in diesem Tieflandgebiet zu vertiefen, beispielsweise Dränagen und Landschaftssenken zu implementieren (Kiesel et al. 2010) oder die Abflusskomponenten zu quantifizieren (Lam et al. 2010, Pfannerstill et al. 2014) und werden dahingehend weiterentwickelt. Außerdem wurden verschiedene Modelle integriert, indem ökohydrologische und hydraulische Modelle in einer Modellkaskade mit einem Arealmodell verbunden wurden (Abbildung 3), so dass Artenverbreitungen beispielsweise von Makrozoobenthos berechnet werden können (Kiesel et al. 2009, 2012, 2013, Jähniq et al. 2012). Land- oder wasserwirtschaftliche Maßnahmen und Szenarien wurden diskutiert und im Modell getestet (Lam et al. 2010, 2011, 2012). Auch für die Bewertung der Ökosystemleistungen werden die Modellergebnisse als Basis genutzt (Kandziora et al. 2014, Schmalz et al. accepted). Das Kielstau-Gebiet dient aufgrund seiner guten Datenlage als Grundlage für diese Methoden- und Modelltests.



*Abbildung 3: Simulation hydrologischer Prozesse im Einzugsgebiet und Gerinne zur Abbildung von Habitatparametern und Artenverbreitungen innerhalb einer Modellkaskade (nach Müller et al. 2014)*

## **Fazit**

Das UNESCO Ökohydrologie-Referenzprojekt Kielstau-Einzugsgebiet ist eingebunden in ein weltweites Netzwerk von Untersuchungsgebieten mit ökohydrologischen Fragestellungen, Anwendungen und Problemlösungen. Das Verständnis hydrologischer Prozesse von Landschaften und Ökosystemen wird durch langjährige Datenreihen mit hochaufgelösten Messungen und gute Geländekenntnis gefördert. Dazu ist auch eine gute und langjährige Kooperation mit lokalen Akteuren und Interessenvertretern von großer Wichtigkeit. Diese Referenzprojekte können dann als Testgebiete für Grundlagenforschung und Anwendungsbeispiele genutzt werden. Im Rahmen der Lehre und Ausbildung wird das Verständnis von Landschaftsprozessen sowie die Kenntnis von Messinstrumenten und -methoden vermittelt. Im Bereich der Forschung kann das Prozessverständnis erweitert sowie Methoden- und Modelltests und -weiterentwicklungen durchgeführt werden.

Die umfangreiche Datenbasis und die langjährigen Kontakte zwischen Wissenschaft, Forschung, Verwaltung und lokalen Akteuren erlauben einen offenen Dialog zwischen Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Natur- und Wasserschutz.

## **Referenzen**

- Fohrer, N. & Schmalz, B. (2012): Das UNESCO Ökohydrologie-Referenzprojekt Kielstau-Einzugsgebiet - nachhaltiges Wasserressourcenmanagement und Ausbildung im ländlichen Raum. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 56(4): 160-168.
- Jähnig, S.C., Kuemmerlen, M., Kiesel, J., Domisch, S., Cai, Q., Schmalz, B. & Fohrer, N. (2012): Modelling of riverine ecosystems by integrating models: conceptual approach, a case study and research agenda. *J. Biogeogr.* 39(12): 2253-2263.
- Kandziora, M., Dörnhöfer, K., Oppelt, N. & Müller F. (2014): Detecting Land Use And Land Cover Changes In Northern German Agricultural Landscapes To Assess Ecosystem Service Dynamics. *Landscape Online* 35:1-24. DOI 10.3097/LO.201435.
- Kiesel, J., Hering, D., Schmalz, B. & Fohrer, N. (2009): A transdisciplinary approach for modelling macroinvertebrate habitats in lowland streams. *IAHS Publ.* 328: 24-33.
- Kiesel, J., Fohrer, N., Schmalz, B. & White, M.J. (2010): Incorporating landscape depressions and tile drainages of a northern German lowland catchment into a semi-distributed model. *Hydrol. Processes* 24(11): 1472-1486.
- Kiesel, J., Schmalz, B., Savant, G. & Fohrer, N. (2012): Across the scales: from catchment hydrology to instream hydraulics. *Proceedings of*

10th International Conference on Hydroinformatics - HIC 2012 Hamburg. TuTech Innovation: 8 p. ISBN: 978-3-941492-45-5.

- Kiesel, J., Schmalz, B., Brown, G.L. & Fohrer, N. (2013): Application of a hydrological-hydraulic modelling cascade in lowlands for investigating water and sediment fluxes in catchment, channel and reach. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 61(4): 334-346.
- Lam, Q.D., Schmalz, B. & Fohrer, N. (2010): Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agric. Water Manage.* 97(2): 317-325.
- Lam, Q.D., Schmalz, B. & Fohrer, N. (2011): The impact of agricultural Best Management Practices on water quality in a North German lowland catchment. *Environ Monit Assess.* 183(1): 351-379.
- Lam, Q.D., Schmalz, B. & Fohrer, N. (2012): Assessing the spatial and temporal variations of water quality in lowland areas, Northern Germany. *Journal of Hydrology* 438-439: 137-147.
- LKN (Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein) (2014): Tägliche Abflussdaten 1986-2013 Pegel Soltfeld (114261), Kielstau.
- LVermA (2005): Topographische Karte im Maßstab 1 : 25 000 (Blätter 1222 Flensburg Süd, 1322 Eggebek, 1223 Husby und 1224 Sterup. Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein, Kiel.
- Müller, E.N., van Schaik, L., Blume, T., Bronstert, A., Carus, J., Fleckenstein, J.H., Fohrer, N., Geißler, K., Gerke, H.H., Gräff, T., Hesse, C., Hildebrandt, A., Hölker, F., Hunke, P., Körner, K., Lewandowski, J., Lohmann, D., Meinikmann, K., Schibalski, A., Schmalz, B., Schröder, B. & Tietjen, B. (2014): Skalen, Schwerpunkte, Rückkopplungen und Herausforderungen der ökohydrologischen Forschung in Deutschland. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 58(4): 221-240.
- Pfannerstill, M., Guse, B. & Fohrer, N. (2014): A multi-storage groundwater concept for the SWAT model to emphasize nonlinear groundwater dynamics in lowland catchments. *Hydrol. Process.* 28: 5599-5612.
- Schmalz, B. & Fohrer, N. (2010): Ecohydrological research in the German lowland catchment Kielstau. *IAHS Publ.* 336: 115-120.
- Schmalz, B., Bieger, K. & Fohrer, N. (2008a): A method to assess in-stream water quality – the role of nitrogen entries in a North German rural lowland catchment. *Adv. Geosci.* 18: 37-41.
- Schmalz, B., Springer, P. & Fohrer, N. (2008b): Interactions between near-surface groundwater and surface water in a drained riparian wetland. *IAHS Publ.* 321: 21-29.

- Schmalz, B., Springer, P. & Fohrer, N. (2009): Variability of water quality in a riparian wetland with interacting shallow groundwater and surface water. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172(6): 757-768.
- Schmalz, B., Kandziora, M., Chetverikova, N., Müller, F. & Fohrer, N. (accepted): Water-related ecosystem services - The Kielstau Basin case study. In: Chicharo, L., Müller, F. & Fohrer, N. (Ed.): *Ecosystem Services and River Basin Ecohydrology*. Springer, accepted.
- UNESCO (2011): *Ecohydrology for sustainability*. 24 p.; <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002108/210826e.pdf>.

# **Erforschung des pflanzlichen Immunsystems: Von der Arbeitshypothese bis zur Entschlüsselung molekularer Mechanismen**

Jan Menkhaus und Daguang Cai

Institut für Phytopathologie,  
Abteilung für molekulare Phytopathologie und Biotechnologie

## **Forschung am pflanzlichen Immunsystem**

Pflanzen sind ständig Pathogenen wie z.B. Viren, Bakterien, Pilzen und Nematoden ausgesetzt. In Schleswig-Holstein zählen z.B. *Septoria tritici* bei Weizen, *Helminthosporium turcicum* bei Mais, *Sclerotinia sclerotiorum* bei Raps und *Heterodera schachtii* bei Rüben zu den wichtigen Schadpathogenen, die erhebliche Verluste verursachen können. Eine Krankheit ist dennoch in der Natur die seltene Ausnahme. Der Grund dafür ist, dass Pflanzen während der Evolution ein effektives angeborenes Immunsystem, ähnlich wie bei Säugetieren entwickelt haben (Jones und Dangl 2006). Dabei unterscheidet man hauptsächlich zwischen zwei Hauptabwehrreaktionen, der PTI (*PAMP-triggered immunity*) und der ETI (*Effector-triggered immunity*).

### *PAMP-vermittelte Anfälligkeit (PTI)*

Eine der wichtigsten Entdeckungen in dem letzten Jahrzehnt waren die PAMP Rezeptoren, die PRRs (*PAMP recognition receptor*). Solche Rezeptoren erkennen sogenannte PAMPs (Pathogen-associated molecular pattern), das sind generelle Strukturen, wie sie hoch konserviert in einigen potentiellen Pathogenen vorkommen (Gomez-Gomez und Boller 2002, Macho und Zipfel 2014). Ein Beispiel für ein bakterielles PAMP ist das Flagellin, ein Protein wie es z.B. in der zur Fortbewegung dienenden Geißeln vorhanden ist. Der *Arabidopsis* Flagellin-Rezeptor FLS2 ist eine Rezeptor-ähnliche Kinase (RLK, receptor-like kinase) bestehend aus einer extrazellulären LRR (leucine-rich repeat)-Region und einer intrazellulären Serin/Threonin Kinase-Domäne, welche nach Erkennung der PAMPs eine Signalkaskade aktiviert (Abb. 1). Diese Signalkaskade aktiviert im Zellkern die Expression von Abwehrgenen, was zur PAMP-vermittelten Resistenz (PTI) führt. Da durch PRRs generelle Strukturen eindringender Organismen erkannt werden, wird diese PTI auch als Basisresistenz



bezeichnet. Sie ist die Ursache dafür, dass Pflanzen gegen die meisten potentiellen Pathogene resistent sind.

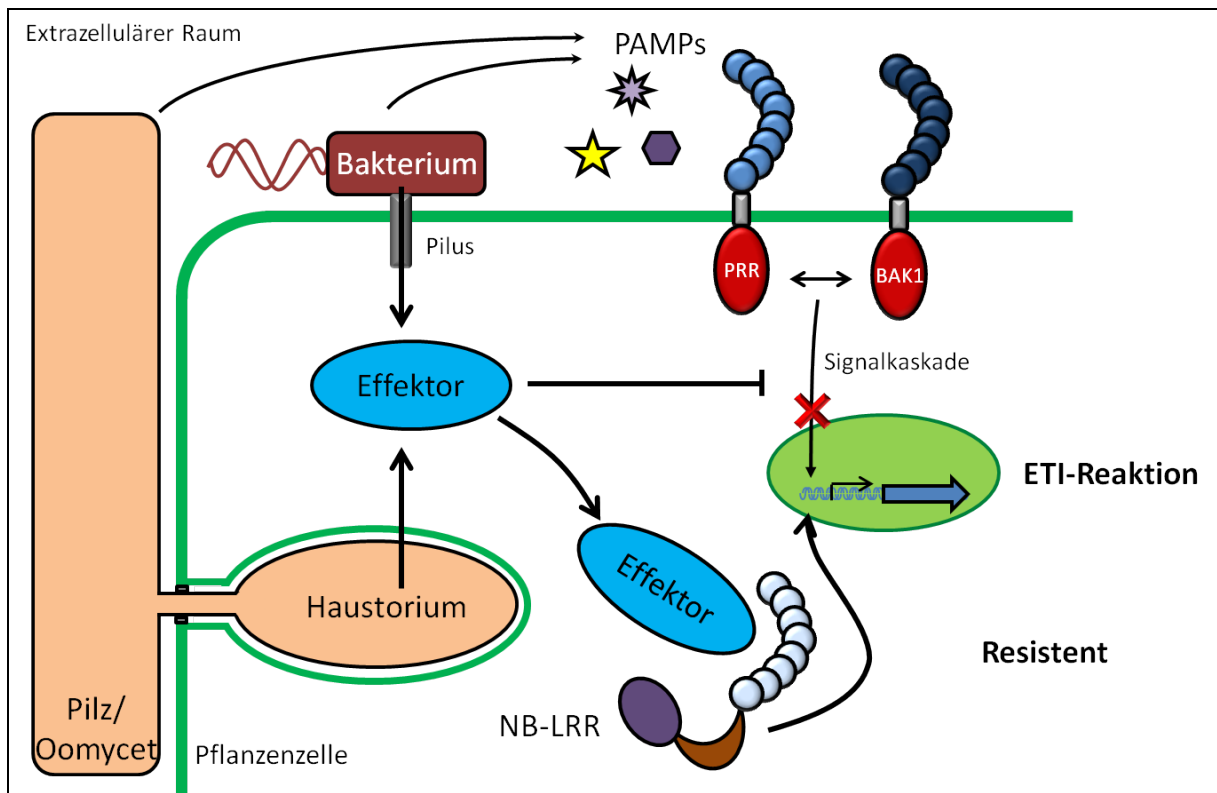
#### *Effektor-vermittelte Anfälligkeit (ETS)*

Einige Pathogene können trotzdem Pflanzen befallen, denn es ist ihnen im Laufe der Evolution gelungen, sogenannte Effektoren über ein Sekretionssystem in die Pflanzenzelle zu schleusen. Solche Effektoren können aktiv die PTI unterdrücken, indem sie z.B. die Signalkaskade blockieren (Abb. 1). Es kommt zur Effektor-vermittelten Anfälligkeit (ETS). Die Entdeckung der Funktionsweise solcher Effektoren machte es möglich zu verstehen, warum Pflanzen gegen bestimmte Pathogene trotz der PTI anfällig sind. Eine wichtige Gruppe von Effektoren sind die TAL (*transcriptional-activator-like*)-Effektoren. Diese Effektoren sind in der Lage, die Expression von pflanzeigenen Genen zu aktivieren, wodurch die Pflanze anfällig wird. Ein bereits gut beschriebener Effektor ist AvrBs3 aus den pflanzenpathogenen *Xanthomonas*-Arten (Boch und Bonas 2010). Dieser Effektor besteht u.a. aus mehreren Wiederholungen von Modulen, den sogenannten Repeats, einer NLS (*nuclear localisation signal*)- und einer AA (*acidic transcriptional activation*)-Domäne. Die NLS-Domäne sorgt für den Transport des Effektors in den Zellkern, wo sich der Effektor spezifisch an die DNA bindet und mit Hilfe der AA-Domäne die Expression der UPA (*upregulated by AvrBS3*)-Gene aktiviert. Die Expression solcher spezifischer Ziel-Gene durch den TAL-Effektor führt über ein komplexes Aktivierungssystem zur Anfälligkeit der Pflanze.

#### *Effektor-vermittelte Immunität (ETI)*

Im Laufe der Koevolution, insbesondere durch die Resistenzzüchtung, wurden Resistenz (R)-Gene selektiert, die solche PTI-unterdrückenden Effektoren erkennen können. Über eine neue Signalkaskade wird dann die Effektor-vermittelte Resistenz (ETI) aktiviert, welche meistens in einer Hypersensitiven Reaktion endet. Das R-Gen *Bs3* aus Paprika (Römer et al. 2007) erkennt z.B. den oben beschriebenen TAL-Effektor AvrBs3 und leitet die ETI ein. Die Beziehung zwischen Effektor und R-Gen beruht auf der Gen-für-Gen Hypothese von Flor (1971). Diese beschreibt, dass es nur zu einer Resistenz kommt, wenn sich ein dominantes R-Gen auf der Pflanzenseite mit einem dominanten Avirulenz (Avr)-Gen auf Seiten des Pathogens paart. Die Gen-für-Gen Hypothese ist sowohl für die ETI als auch für die PTI heute mit wenigen Ausnahmen gültig. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden die R-Gene intensiv erforscht. So haben verschiedene R-Gene aus verschiedenen Pflanzen, die gegen verschiedene Pathogene eine Resistenz vermitteln, annähernd die gleichen Strukturen, was ebenfalls für einen über die Evolution hinaus konservierten Resistenz-

Mechanismus spricht und die von Flor beschriebene Gen-für-Gen Hypothese unterstreicht.



**Abb. 1:** Darstellung der pflanzlichen Immunität. Ein R-Gen (NB-LRR) erkennt den vom Pilz/Oomycet oder Bakterium in die Pflanzenzelle geschleusten Effektor und aktiviert über eine Signalkaskade die ETI. Der Effektor hat zuvor die PTI oder Basisresistenz unterdrückt und damit die Pflanze anfällig gemacht (Dodds und Rathjen 2010).

### Zick-Zack-Modell

Wie sich das pflanzliche Immunsystem aus evolutionärem Aspekt entwickelt und koordiniert hat wird in dem nach Jones und Dangl (2006) beschriebenen Zick-Zack-Modell erklärt. Ursprünglich hatten Pflanzen die PTI. Diese Resistenz ist zwar effektiv, aber die Amplitude der Abwehr ist nicht besonders hoch. Dann entwickelten die Pathogene im Laufe der Evolution die schon oben beschriebenen Effektoren, mit der sie die PTI aktiv unterdrücken und es zur ETS kommt. Im Laufe der Evolution entwickelten Pflanzen wiederum neue R-Gene, die die von den Pathogenen eingeschleusten Effektoren direkt oder indirekt erkennen können und die Resistenz der Pflanzen wieder herstellen. Diese ETI endet häufig in einer Hypersensitiven Reaktion, bei der das umliegende Gewebe der befallenen Zelle abstirbt, um dem eindringenden Pathogen die Nahrungsgrundlage zu entziehen. Die Amplitude dieser Abwehr ist hoch. Diese ETI kann jedoch leicht durch eine Mutation oder Selektion eines neuen Effektors gebro-

chen werden. In diesem Fall kommt es erneut zur ETS, die jedoch durch neue R-Gene auf Seiten der Pflanze wieder zur ETI führen kann. Dieses Wechselspiel zwischen resistent und anfällig ist deshalb als Zick-Zack Modell bekannt. Es erklärt, warum resistente Sorten gegenüber neuen Pathotypen eines Pathogens anfällig werden. Die Herausforderung der Resistenzzüchtung ist es dann, diesen Mechanismus aufzuklären und nach neuen R-Genen bzw. Mechanismen zu suchen.

### **Bedeutung und Anwendung in der Praxis**

Sowohl die Erkenntnisse der PTI als auch der ETI lassen sich in der Praxis anwenden. Dieses soll an zwei Beispielen verdeutlicht werden. Das erste Beispiel ist die Nutzung von PAMP-Rezeptoren und das zweite ist die Nutzung von TALEN zur Erzeugung von resistenten Nutzpflanzen.

#### *Nutzung von PAMP-Rezeptoren zur Erzeugung resistenter Pflanzen*

Identifizierung von *PAMP-Rezeptoren* ermöglicht eine neue Strategie zur Züchtung resistenter Pflanzen. Lacombe et al. (2010) übertrugen einen EFR-PAMP Rezeptor aus *Arabidopsis* in Tomate, welche dann eine Resistenz gegen ein breites Spektrum von Bakterien zeigt. Der PAMP-Rezeptor EFR (EF Tu Rezeptor) erkennt den bakteriellen Elongationsfaktor (EF) Tu (Zipfel et al. 2006) und kommt natürlicher Weise nicht in der Tomate vor. Nach erfolgreicher Übertragung aus *Arabidopsis* verleiht der PAMP-Rezeptor Resistenz gegenüber der Gattung *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Xanthomonas* und *Ralstonia*, die diesen EF Tu besitzen. Im Vergleich zu einem R-Gen verleihen PAMP-Rezeptoren nicht nur Resistenz gegenüber meist einem pathogenen Stamm, da Strukturen erkannt werden, wie sie in einem breiten Spektrum von Mikroorganismen vorkommen. Diese Strukturen sind zudem sehr wichtig für die Viabilität und Lebenshaltung der Mikroorganismen, so dass Mutationen und Deletionen der Strukturen verglichen mit Virulenzfaktoren oder Effektoren seltener Vorkommen, da sie für das potentielle Pathogen lebensnotwendig sind. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Erzeugung von resistenten Kulturpflanzen durch die Verwendung von PAMP-Rezeptoren Resistenz gegenüber ein breiteres Spektrum an Pathogenen verleiht und zudem weniger anfällig für Mutationen ist, was wiederum zur dauerhaften Resistenz führen kann.

#### *Nutzung von TALEN zur Erzeugung resistenter Pflanzen*

TALEN (*Transcription activator like effektor nuclease*) ist eine Methode, mit der sich gezielt und effizient Gene ausknocken lassen. Als Grundlage dienen die bereits oben erwähnten TAL-Effektoren aus den pflanzenpathogenen *Xanthomonas*-Arten. Diese binden nach Einschleusung in die Wirtszelle spezifisch am

Promotor des Zielgens und aktivieren die Expression von Genen, die *Xanthomonas* zur erfolgreichen Besiedelung benötigt. Ein TAL besteht aus 17,5 Modulen, und jedes Modul besteht aus 34 Aminosäuren, wovon 32 dieser Aminosäuren hoch konserviert sind. Nur die Aminosäuren an den Positionen 12 und 13 sind variabel und bestimmen an welches Nukleotid das jeweilige Modul bindet. Das Dimer Histidin/Asparaginsäure bindet z.B. an Cytosin und Asparagin/Glycin an Thymin. Diese Variabilität der jeweils 12. und 13. Aminosäure über die gesamten Module hinweg entscheidet über die Nukleotidsequenz, an die der Effektor bindet. Mit Hilfe dieser Erkenntnis von Bonas et al. (2009) und Mak et al. (2012) lassen sich gezielt Genome editieren, da sich die Module so verändern lassen, dass sie an fast jeder beliebigen Stelle im Genom binden. Wird die Aktivierungs-Domäne dann durch eine Nuklease (dafür steht das N hinter TALE) ersetzt, lassen sich gezielt Doppelstrangbrüche in Genome einfügen. Dieser Doppelstrangbruch löst in der Zelle einen von zwei möglichen Reparatur-Mechanismen aus. Entweder werden die DNA-Enden notdürftig wieder zusammengeführt, worauf es meistens durch Verschiebung des Leserahmens zum Knockout des Gens kommt oder es lassen sich durch homologe Rekombination mit passenden DNA-Sequenzen fremde DNA einbauen. Mit dieser Technik wird es möglich, Genome gezielt zu editieren. Beim TALEN verwendet man die Nuklease Fok1. Sie erzeugt DNA-Doppelstrangbrüche nur als Dimer, d.h. man benötigt zwei TALEN, wodurch sich zusätzlich die Spezifität erhöht. Die TALENs werden dann so konstruiert, dass sich ein TALEN oberhalb und ein TALEN unterhalb der gewünschten Schnittstelle an die DNA bindet, wodurch sich die Fok1-Dimere in der Mitte bilden können, die DNA schneidet (s. Abb. 2) und letztendlich die Mutation einfügt.

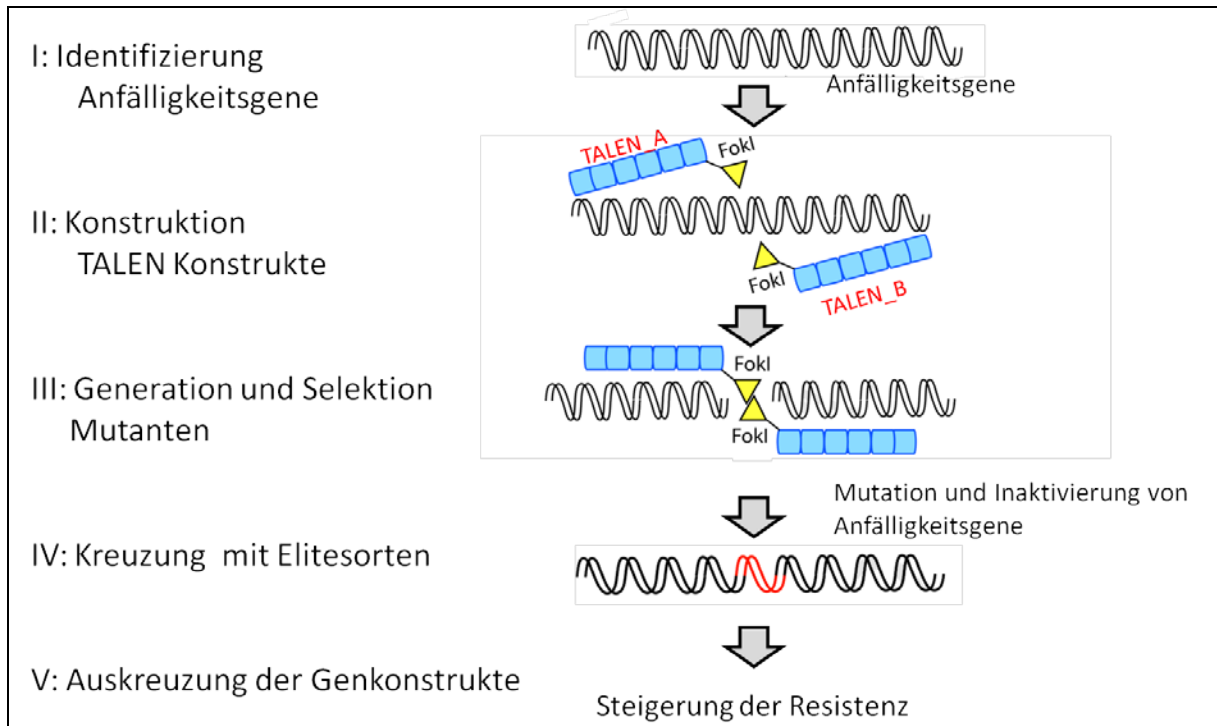
### **Forschungsvorhaben am Institut für Phytopathologie**

Die oben beschriebene Technik des TALENs lässt sich nutzen, um agronomisch wichtige Merkmale, wie z.B. Qualität, Toleranz und Resistenz zu verbessern. Am Institut für Phytopathologie ist geplant durch die gezielte Inaktivierung von potentiellen Anfälligkeitsfaktoren, sog. Kompatibilitätsfaktoren, die Resistenz von Raps gegenüber *Verticillium longisporum*, Zuckerrübe gegenüber *Heterodera schachtii* und Kartoffel gegenüber *Streptomyces scabies* zu erhöhen, so dass diese züchterisch genutzt werden kann.

### *Prinzip der TALEN-Technologie*

Die TALEN-Strategie wird vereinfacht in Abb. 2 zusammengefasst. Um TALEN erfolgreich anwenden zu können, müssen zuerst Anfälligkeitgene oder Kompatibilitätsfaktoren in der Pflanze identifiziert werden, die der Pilz für eine erfolgreiche Infektion benötigt (I). Mit der Entschlüsselung der Bindung der

TAL-Effektoren ist es möglich, die Module dieser Effektoren so zu modifizieren, dass sie spezifisch innerhalb dieser Anfälligkeitsgene binden (II). Da die Nuklease FokI nur als Dimer funktioniert, muss TALEN-A oberhalb und TALEN-B unterhalb des gewünschten Schnittes binden, so dass sich in der Mitte das FokI-Dimer bilden kann. Dieses führt dann den Doppelstrangbruch herbei, welcher durch das zelleigene Reparatursystem ungenau zusammengeführt wird und letztendlich zur Mutation des gewünschten Gens führt (III).



**Abb. 2:** Strategie des TALENs. Nach der Identifizierung von Anfälligkeitsgenen müssen die TALEN-Konstrukte so konstruiert werden, dass sie innerhalb des Gens binden und die Mutation generieren. Die Mutanten werden dann mit Elitesorten gekreuzt um resistente Hochleistungsorten zu generieren, aus denen sich sogar die Genkonstrukte auskreuzen lassen.

Die Pflanzen mit der enthaltenen Mutation werden nach erfolgreicher Selektion in Elitesorten eingekreuzt. Am Ende erhält man Hochleistungsorten, die die erwünschte Mutation enthalten und resistent gegenüber dem gewünschten Pathogen sind. Da die Mutation unabhängig von der Insertion des Genkonstruktes ist, lassen sich die Genkonstrukte auskreuzen.

Somit wurden zwei Methoden vorgestellt, mit denen man resistenterere Pflanzen erzeugen kann.

#### *Vorteile der TALEN-Strategie*

Die bereits sequenzierten Genome von Raps, Kartoffel und Zuckerrübe kann man direkt nutzen, um z.B. geeignete Kandidatengene zu identifizieren. Mit

Hilfe des TALENs lassen sich gezielt Gene inaktivieren oder modifizieren. Bei polyploiden Pflanzen ist das Ausschalten mehrerer Genkopien möglich, was gerade für den Raps eine enorme Erleichterung bedeuten würde. Das macht diese Methode sehr effizient und effektiv. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Mutation unabhängig von der Insertion des Genkonstruktes ist. Damit ist eine Auskreuzung der Genkonstrukte möglich, so dass die entstehenden Pflanzen mit verbesserten Eigenschaften nicht mehr als gentechnisch verändert gelten. Diese Tatsache wäre für die Pflanzenzüchter für den europäischen Raum eine große Herausforderung.

### **Zusammenfassung**

Das pflanzliche Immunsystem zur Abwehr von Pathogenen ist sehr komplex. Vereinfacht und zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwei Abwehrreaktionen gibt, die PTI und die ETI. Während die PTI dafür zuständig ist, dass Pflanzen gegen die meisten Pathogene resistent sind, stellt die ETI eine Resistenz gegenüber rassenspezifischen Pathogenen wieder her, die mit speziellen Effektoren die PTI unterdrücken konnten. Sowohl PTI und ETI lassen sich züchterisch in der Praxis anwenden. Mit Hilfe neuer Techniken, z.B. TALEN, lassen sich Genome gezielt und effizient modifizieren. Damit lassen sich agronomisch wichtige Merkmale, wie z.B. Qualitätsmerkmale oder Krankheitsresistenzen verbessern. Zusätzlich lassen sich die Genkonstrukte, die zur Erzeugung einer Mutation benötigt werden, herauskreuzen, womit neue z.B. resistente Pflanzen nicht mehr als transgen-verändert gelten würden. Dies würde den Züchtungsfortschritt enorm beschleunigen.

### **Literatur**

- Boch J und Bonas U (2010) Xanthomonas AvrBS3 family-type III effectors: Discovery and function. *Annu. Rev. Phytopathol.* 48, 419-436.
- Boch J, Scholze H, Schornack S, Landgraf A, Hahn S, Kay S, Lahaye T, Nickstadt A und Bonas U (2009) Breaking the code of DNA binding specificity of TAL-type III effectors. *Science* 326, 1509-1512.
- Chisholm ST, Coaker G, Day B und Staskawicz BJ (2006) Host-microbe interactions: Shaping the evolution of the plant immune response. *Cell* 124, 803-814.
- Dodds PN und Rathjen JP (2010) Plant immunity: towards an integrated view of plant-pathogen interactions. *Nature Reviews* 11, 539-548.
- Flor HH (1971) Current status of the gene-for-gene concept. *Annu. Rev. Phytologist* 180, 27-44.
- Gomez-Gomez L and Boller T (2002) Flagellin perception: a paradigm for innate immunity. *Trends Plant Science* 7, 251-256.
- Jones JDG und Dangl JL (2006) The plant immune system. *Nature* 444, 323-329.
- Lacombe S, Rougon-Cardoso A, Sherwood E, Peeters N, Dahlbeck D, van Esse HP, Smoker M, Rallapalli G, Thomma BPHJ, Staskawicz B, Jones JDG und Zipfel C (2010) Inter-

- family transfer of a plant pattern-recognition receptor confers broad-spectrum bacterial resistance. *Nature Biotechnology* 28, 365-369.
- Macho AP und Zipfel C (2014) Plant PRRs and the activation of innate immunity signaling. *Cell* 154, 263-272.
- Mak AN-S, Bradley P, Cernadas RA, Bogdanove AJ und Stoddard BL (2012) The crystal structure of TAL effector PthXo1 bound to its DNA target. *Science* 335, 716-719
- Römer P, Hahn S, Jordan T, Strauß T, Bonas U und Lahaye T (2007) Plant pathogen recognition mediated by promoter activation of the pepper *Bs3* resistance gene. *Science* 318, 645-648.
- Zipfel C, Kunze G, Chinchilla D, Caniard A, Jones JDG, Boller T und Felix G (2006) Perception of the bacterial PAMP EF-Tu by the receptor EFR restricts *Agrobacterium*-mediated transformation. *Cell* 125, 749-760.

# **Zum Stand des Schwanzkupierens beim Schwein - Einfluss von Raufutter auf das Beißgeschehen in der Ferkelaufzucht**

Christina Veit und Joachim Krieter

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

## **Einleitung**

Schwanzbeißen ist eine weitverbreitete Verhaltensstörung in der intensiven Schweinehaltung, die vermindertes Tierwohl und wirtschaftliche Einbußen zur Folge hat (EFSA, 2007). Die multifaktoriellen Ursachen dieser Form des Kannibalismus erschweren eine Problemlösung. Als umweltbedingte Risikofaktoren wurden sowohl hohe Besatzdichten und Defizite in Futterqualität und -verfügbarkeit (Moinard et al., 2003) als auch eine schlechte Lüftung (Hunter et al., 2001) und ein Mangel an wühlbaren Materialien festgestellt (Zonderland et al., 2008a). Auf der biologischen Seite können unter anderem eine unzureichende Tiergesundheit (Moinard et al., 2003), die Genetik (Breuer et al., 2003) und das Geschlecht (Zonderland et al., 2010) eine Rolle spielen. Das Bedürfnis, Erkundungs- und Nahrungssuchverhalten auszuüben, wird als grundlegende Motivation für Schwanzbeißen angesehen (EFSA, 2007). Dabei ist zu beachten, dass die Tiere in freier Wildbahn 70% ihrer Zeit mit diesen Verhaltensweisen verbringen, welche in der reizarmen Umgebung von intensiven Haltungssystemen nur zu einem geringeren Anteil ausgeübt werden können. Wenn passendes Material nicht verfügbar ist, leiten die Schweine ihr Suchverhalten hin zu Buchtengegnossen und Buchtenumgebung um (EFSA, 2007). Ein bedeutender Ansatz zur Minimierung des Risikos für Schwanzbeißen ist die Bereitstellung von Beschäftigungsmaterial für die Tiere (Zonderland et al., 2008b). Es wurde bereits gezeigt, dass die Anreicherung der Haltungsumgebung das Ausmaß aggressiver Verhaltensweisen reduziert (Beattie et al., 2000). Einige Studien lassen eine Verminderung des Beißgeschehens durch Beschäftigung der Tiere mit Stroh (Van de Weerd et al., 2006; Day et al., 2008) oder anderen wühlbaren Materialien erkennen (Beattie et al., 2001). Ziel der vorliegenden Studie ist die Beurteilung des Einflusses einer täglichen Raufuttergabe ab der zweiten Lebenswoche bis zum Ende der Aufzuchtphase auf das Auftreten von Schwanzbeißen in Abferkelbereich, Ferkelaufzucht und Mast. Um detaillierte Informationen über das Tierverhalten zu gewinnen, war das Aktivitätsverhalten der Schweine und die



Intensität und Dauer der Beschäftigung mit dem angebotenen Material ein weiterer Aspekt dieser Untersuchung.

### **Material und Methoden**

Die Studie wurde von September 2013 bis April 2014 auf dem Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein durchgeführt. Die Einrichtung verfügt über Ställe für die Schweinehaltung mit ca. 400 Sauen, 2000 Ferkeln und 2000 Mastschweinen. Die Muttersauen der Versuchsferkel entstammen der dänischen Landrasse (Porkuss) oder der PIC-Genetik, die Väter sind Pietrain-Eber. Die Ferkel wurden nach 28 Tagen Säugezeit mit einem Gewicht von durchschnittlich 8,1kg abgesetzt. Die Aufstallung in der Ferkelaufzucht erfolgte entweder wurfweise in Kleingruppen (à 12 Tiere) oder Großgruppen (à 24 Tiere), wobei maximal zwei Würfe gemischt wurden. Die Buchten waren je nach Abteil mit Trocken- oder Breifütterung, Becken (mit Aqualevel) oder Nippeltränken ausgestattet und verfügten über Unterdrucklüftung und Vollspaltenböden mit einer Fläche von ca. 0,38-0,42 m<sup>2</sup>/Tier. Nach einer 40 tägigen Aufzuchtphase erfolgte eine Umstallung in die Mast in gleichbleibenden Gruppen. Insgesamt wurden die Tiere aus 10 Durchgängen wöchentlich à 6 Würfen (insgesamt 723 Ferkel) in drei gleich große Versuchsgruppen eingeteilt:

A) Ferkel mit ungekürzten Schwänzen ohne Raufuttergabe als Kontrollgruppe

B) Ferkel mit ungekürzten Schwänzen und der Gabe von getrockneter Mais-silage

C) Ferkel mit ungekürzten Schwänzen und der Gabe von Luzernestroh

Die Raufuttergabe (Mais ca.100g/Tag/Bucht, Luzerne ca.120g/Tag/Bucht) erfolgte zweimal täglich ab der zweiten Lebenswoche bis zum Ende der Ferkelaufzucht in das Ferkelnest bzw. in Ferkelschalen. Alle Versuchsgruppen waren gleichzeitig in jedem Abteil bzw. Durchgang vertreten. Die Interventionsmaßnahmen bei einem Schwanzbeißausbruch waren das Angebot von Jutesäcken, Stroh-Torf-Gemisch oder Grassilage in Ferkelschalen oder Langstroh auf den Boden. In schweren Fällen wurde der Beißer identifiziert und aus der Bucht genommen. Die Ferkel wurden von Geburt an bis zum Ende der Aufzuchtphase wöchentlich individuell bonitiert. Die Bonitur umfasst eine Beurteilung des Ferkelschwanzes hinsichtlich Beißgeschehen (keine sichtbaren Verletzungen (0), leichte Kratzer/Bisspuren (1), kleinflächige (2), bis großflächige Verletzungen (3)) und Schwanzverlust (Originallänge (0), Spitzen-(1), Teil-(2) oder Komplettverlust (3)). 40% der Tiere wurden sowohl im Abferkelbereich als auch in der Ferkelaufzucht per Video überwacht, hierbei wurde das Aktivitätsverhalten in Bezug auf einen Schwanzbeißausbruch und der Beschäftigung mit

dem Raufutter ausgewertet. Die Verhaltensbeobachtungen erfolgten zwischen 6 und 18 Uhr mittels „Instantaneous scan sampling“, einer Erhebungsmethode, die das Verhalten jedes Einzelindividuums in bestimmten Zeitabschnitten aufnimmt. Das Aktivitätsverhalten der Tiere wurde alle 10 Minuten erfasst, während die Beschäftigung mit dem Raufutter minütlich ab Gabe über insgesamt 10 Minuten aufgenommen wurde. Individuelle Geburts- und Absetzgewichte von 440 Ferkeln und Gruppengewichte von 27 Buchten zu Beginn und zum Ende der Aufzuchtphase wurden erfasst.

## Ergebnisse

Das angebotene Raufutter wurde von den Ferkeln gut angenommen. Im Durchschnitt waren 25,1% der Tiere in Abferkelbereich und Ferkelaufzucht in den ersten 10 Minuten nach Gabe mit dem Raufutter beschäftigt.

Das Beißgeschehen beginnt 2-3 Wochen nach dem Absetzen, wie in Abb.1 und Abb.2 deutlich wird. Erste Schwanzverluste sind durchschnittlich 3 bis 4 Wochen nach dem Absetzen zu beobachten. Im Abferkelbereich trat bei den Saugferkeln kein Schwanzbeißen auf.

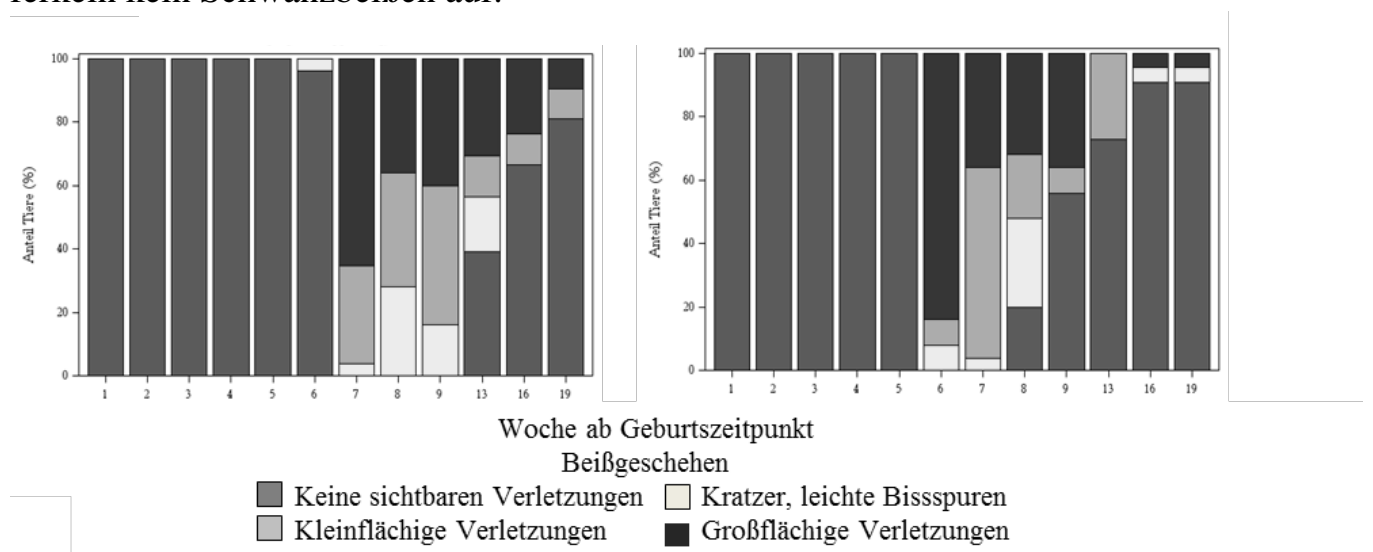


Abb.1: Beißgeschehen, Kontrollgruppe, 1. Durchgang

Abb.2: Beißgeschehen Maisgruppe, 1. Durchgang

Der Ausbruchszeitpunkt und der Schweregrad eines Schwanzbeißausbruches variieren je nach Abteil und Versuchsgruppe. In der Ferkelaufzucht waren 31 von 42 Buchten von Schwanzbeißen und daraus resultierenden Schwanzverlusten betroffen. Der Anteil der Tiere, die das Ende der Aufzuchtphase mit Originallänge des Schwanzes erreicht haben, ist in den Gruppen mit Raufutterangebot am höchsten (s.Tab.1). Die Verletzungsschwere, in Bezug auf das Auftreten von Spitzen-, Teil- oder Kompletverlusten, steigt von der Mais- über die Luzernegruppe bis zur Gruppe ohne Raufutterangebot an.

Tabelle 1: Mittlere Schwanzverluste und Schwankungsbreite über alle Durchgänge zum Ende der Aufzuchtphase (10. Woche)

	Mais [%]		Luzerne [%]		Kontrolle [%]	
	Mittelwert	Min/Max	Mittelwert	Min/Max	Mittelwert	Min/Max
Originallänge	56,1	0-96,0	55,8	0-100	51,9	0-100
Spitzenverlust	29,9	0-76,0	23,4	0-70,8	27,9	0-78,3
Teilverlust	6,77	0-60,0	14,8	0-62,5	12,2	0-47,8
Komplettverlust	2,02	0-12,0	4,74	0-30,8	6,63	0-36,0

Im Verlauf des Versuches wurde durch Verbesserungen des Managements eine Abnahme der Gesamtverluste erzielt. Durch eine intensivere Tierbeobachtung wurde das Beißgeschehen früher erkannt und durch sofortiges Eingreifen abgemildert. Die Bereitstellung eines Stroh-/Torfgemisches und der Einsatz von Jutematerial führten zur zusätzlichen Beschäftigung und Ablenkung der Tiere. Diese Maßnahmen wurden bei Schwanzbeißausbrüchen auch in den Kontrollgruppen durchgeführt, um schweren Verletzungen vorzubeugen. Der Vergleich zwischen Durchgang 5 und 10 (s. Abb. 2 und Abb. 3) zeigt eine Reduktion der Schwanzverluste um 65%.

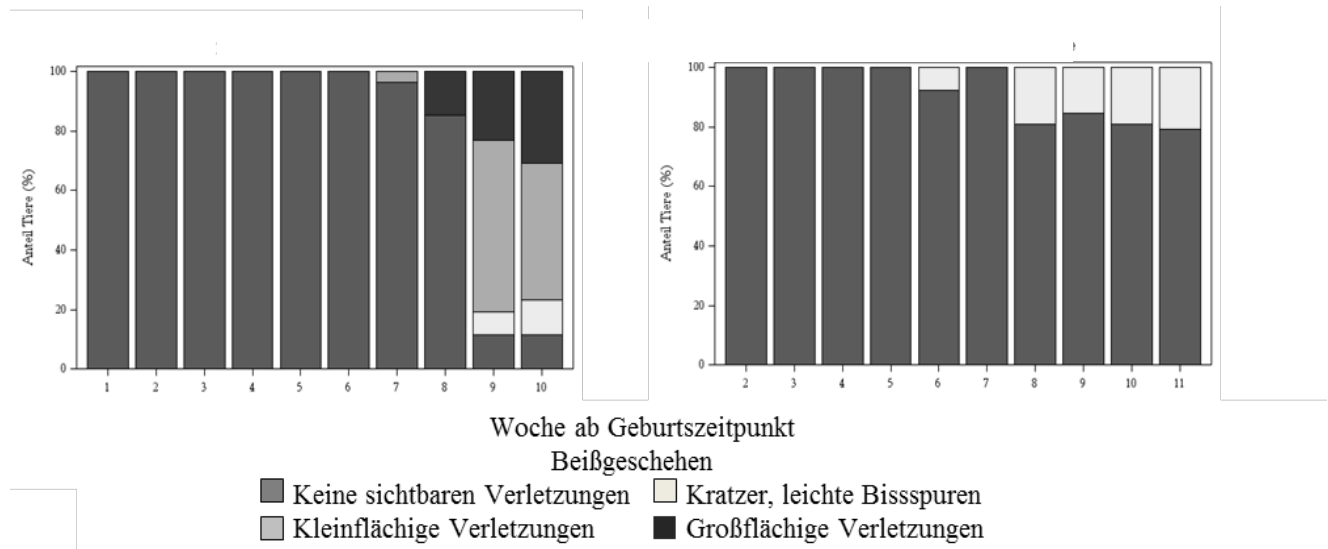


Abb.3: Schwanzverluste, Luzernegruppe, Durchgang 5

Abb.4: Schwanzverluste, Luzernegruppe, Durchgang 10

Die Daten der Videoanalyse lassen einen zweiphasigen Aktivitätsverlauf zwischen 11 und 12 Uhr und zwischen 15 und 16 Uhr im Abferkelbereich erkennen, in der Ferkelaufzucht findet die Hauptaktivitätsphase eine Stunde früher statt. Am häufigsten treten die Verhaltensweisen Liegen (39,3%), Fressen (26,0%) und Stehen (26,1%) auf. Vom Abferkelbereich zur Aufzucht nimmt der Anteil aktiver Tiere um 6,8% zu.

## **Diskussion**

Um praktikable und umsetzbare Lösungen zur Vermeidung des Beißgeschehens zu finden, wurde die Menge des angebotenen Materials an das vollperforierte System angepasst. Getrocknete Maissilage sowie Luzernestroh lagen kurzgeschnitten vor und wurden in Ferkelschalen dargereicht, wodurch keine Probleme mit dem Güllesystem auftraten. Schwanzbeißen trat unabhängig von der Versuchsgruppe in allen Buchten auf, wobei in 75% der Buchten nachfolgend Schwanzverluste zu verzeichnen waren. Tendenziell traten während der Ferkelaufzucht in den Raufuttergruppen weniger Schwanzverluste als in der Kontrollgruppe auf. Die Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen waren jedoch nicht statistisch signifikant, was dadurch erklärt werden kann, dass im Falle eines Schwanzbeißausbruches aus tierschutzrechtlichen Gründen auch in den Kontrollgruppen zusätzliches Beschäftigungsmaterial zur Verfügung gestellt wurde. Im Versuchsverlauf nahm die Anzahl von Schwanzverlusten unabhängig von der Versuchsgruppe ab, was durch eine Verbesserung des Managements zu erklären ist. Durch eine Sensibilisierung des Stallpersonals und eine intensive Tierbeobachtung wurde das Schwanzbeißen früher erkannt und durch sofortiges Eingreifen abgemildert. Die Bereitstellung eines Stroh-/Torfgemisches und der Einsatz von Jutematerial führten zur zusätzlichen Beschäftigung und Ablenkung der Tiere.

## **Fazit**

Die Aufzucht mit einem Verzicht auf das Schwanzkupieren ohne zusätzliche Beschäftigung ist nicht durchführbar. Eine intensive Tierbeobachtung ist unerlässlich, um schwerwiegende Schwanzverluste zu vermeiden. Besonders in der ersten und zweiten Woche nach dem Absetzen sollten die Ferkel genau überwacht werden.

## **Literatur**

- Beattie, V.E., O'Connell, N.E., Moss, B.W., 2000. Influence of environmental enrichment on the behaviour, performance and meat quality of domestic pigs. *Livestock Production Science* 65, 71-79.
- Beattie, V.E., Sneddon, I.A., Walker, N., Weatherup, R.N., 2001. Environmental enrichment of intensive pig housing spent mushroom compost. *Animal Science* 72, 35-42.
- Breuer, K., Sutcliffe, M.E.M., Mercer, J.T., Rance, K.A., Beattie, V.E., Sneddon, I.A., Edwards, S.A., 2003. The effect of breed on the development of adverse social behaviours in pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 84, 59-74.
- Day, J.E.L., Burfoot, A., Docking, C.M., Whittaker, X., Spoolder, H.A.M., Edwards, S.A., 2002. The effects of prior experience of straw and the level of straw provision on the behaviour of growing pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 76, 189-202.
- Day, J.E.L., Van de Weerd, H.A., Edwards, S.A., 2008. The effect of varying lengths of straw bedding on the behaviour of growing pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 109, 249-260.

European Food Safety Authority (EFSA): Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from Commission on the risks associated with tail biting in pigs and possible means to reduce the need for tail docking considering the different housing and husbandry systems. *The EFSA Journal* (2007) 611, 1-13

Hunter, E.J., Jones, T.A., Guise, H.J., Penny, R.H.C., Hoste, S., 2001. The Relationship Between Tail Biting in Pigs, Docking Procedure and Other Management Practices. *The Veterinary Journal* 161, 72-79.

Moinard, C., Mendl, M., Nicol, C.J., Green, L.E., 2003. A case control study of on-farm risk factors for tail biting in pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 81, 333-355.

Van de Weerd, H.A.V.d., Docking, C.M., Day, J.E.L., Breuer, K., Edwards, S.A., 2006. Effects of species-relevant environmental enrichment on the behaviour and productivity of finishing pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 99, 230-247.

Zonderland, J.J., Schepers, F., Bracke, M.B.M., den Hartog, L.A., Kemp, B., Spoolder, H.A.M., 2010. Characteristics of biter and victim piglets apparent before a tail-biting outbreak. *Animal* 5, 767-775.

Zonderland, J.J., Wolthuis-Fillerup, M., van Reenen, C.G., Bracke, M.B.M., Kemp, B., Hartog, L.A.d., Spoolder, H.A.M., 2008a. Prevention and treatment of tail biting in weaned piglets. *Applied Animal Behaviour Science* 110, 269-281.

Zonderland, J.J., Wolthuis-Fillerup, M., van Reenen, C.G., Bracke, M.B.M., Kemp, B., Hartog, L.A.d., Spoolder, H.A.M., 2008b. Prevention and treatment of tail biting in weaned piglets. *Applied Animal Behaviour Science* 110, 269-281.

# **Die neuen Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie zur Energie- und Nährstoffversorgung der Pferde**

Andreas Susenbeth

Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie

Der vorliegende Beitrag hat die Vorstellung des im Jahr 2014 erschienenen Werkes „Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Pferden“ (Hrsg. Gesellschaft für Ernährungsphysiologie; GfE 2014) zum Gegenstand. Die wesentlichen Neuerungen sind im einleitenden Kapitel beschrieben, das hier gekürzt und teilweise modifiziert wiedergegeben ist.

„Die ‚Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Pferden‘ wurden vom Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie im Jahre 1994 publiziert (GfE, 1994). Seitdem gab es einen erheblichen Zuwachs an wissenschaftlichen Erkenntnissen. Dies betrifft sowohl tierexperimentell abgesicherte Ergebnisse als auch modellhafte Ableitungen zur Futterbewertung und zum Bedarf an Energie und Nährstoffen für verschiedene Teilleistungen. Somit erschien es geboten, die verfügbare Literatur auszuwerten und die Empfehlungen zur Versorgung den aktuellen Erkenntnissen und Erfordernissen anzupassen. Gegenüber der im Jahre 1994 publizierten Broschüre besteht eine wesentliche Neuerung in der Aufnahme eines Kapitels zur artgerechten Ernährung, welches zusätzlich Anforderungen an die Rationsgestaltung, die Wasserversorgung und -qualität sowie die Futtermittel- und Fütterungshygiene aufgreift. Besonders hervorzuheben sind die folgenden Neuerungen:

Die energetische Futterbewertung erfolgt auf der Stufe der Umsetzbaren Energie (ME). Dies hat gegenüber der bisherigen Bewertung auf der Stufe der Verdaulichen Energie (DE) vor allem den Vorteil, dass der Verlust an Methan und der beim Pferd im Vergleich zu anderen Spezies deutlich höhere Energieverlust über den Harn berücksichtigt werden, die überwiegend durch Eigenschaften der Ration bedingt sind, und daher auch der Futterbewertung und nicht wie bisher dem Bedarf zuzurechnen sind.

Die Proteinbewertung des Futters erfolgt über indirekt ermitteltes praecaecal verdauliches Rohprotein (pcvXP) und für einzelne Aminosäuren (AS) auf der

gleichen Ebene, d. h. als pcvAS. Die Abkehr vom verdaulichen XP (Futter-Kot-Differenz) als Bewertungsgröße war erforderlich, da auch Pferde ihren Bedarf an essentiellen AS nur über das bis zum Ende des Dünndarms verdaute Futterprotein decken. Aufgrund der sehr geringen Anzahl von Versuchsergebnissen zur praecaecalen Verdaulichkeit von XP und AS beim Pferd wurden modellhafte Ableitungen vorgenommen. Diese basieren auf dem ‚Cornell Net Carbohydrate and Protein System‘ für Wiederkäuer. Sie berücksichtigen die XP-Löslichkeit, die in Experimenten am Pferd ermittelte Beziehung zwischen pcvXP und löslichem XP sowie den in einzelnen Fraktionen zu erwartenden AS-Gehalten.

Die Ableitung des Erhaltungsbedarfs an ME wurde aufgrund des im Vergleich zu anderen Nutztierarten großen Anteils am Gesamtbedarf und der großen Variation unter Zuhilfenahme der verfügbaren Literatur grundlegend überarbeitet. Der bisher als konstanter Multiplikator der Metabolischen Körpergröße betrachtete Energiebedarf wurde differenziert. Unterschiede im Protein- und Fettgehalt des Körpers und diesbezüglich modifizierende Größen wie Rasse sowie Trainings- und Ernährungszustand wurden berücksichtigt. Weiterhin wurde auch den Anforderungen für die Spontanbewegung und die Thermoregulation in Form von Zuschlägen oder Abzügen Rechnung getragen.

Die Ableitung des ME-Bedarfs tragender Stuten erfolgt auf der Basis von Literaturergebnissen zum Sauerstoffverbrauch des graviden Uterus. Dieser ist offenbar speziesübergreifend relativ groß, was unter anderem den als besonders niedrig bekannten energetischen Teilwirkungsgrad für die Trächtigkeit erklären dürfte. Für die Ermittlung von Grunddaten zur Energie- und Nährstoffversorgung laktierender Stuten ist eine wesentliche Neuerung die Berücksichtigung der Allometrie der Milchleistung, die sich weder proportional zur Lebendmasse (LM) noch zur Metabolischen Körpergröße ( $\text{kg LM}^{0,75}$ ) verhält. Der Zeitpunkt der höchsten Milchleistung wurde gegenüber den bisherigen Vorstellungen dadurch deutlich vorverlegt, was trotz unterschiedlicher Vorgehensweise bei der Ableitung weitgehend den Angaben des NRC (2007) entspricht. Erstmals werden im vorliegenden Buch im Verlauf der Laktation sich ändernde Gehalte an Nährstoffen in der Milch für die Ableitung der Versorgungsempfehlungen berücksichtigt.

Die körperliche Arbeit macht eine entsprechende Sauerstoffaufnahme erforderlich. Die Sauerstoffaufnahme wiederum steht in einem engen Zusammenhang mit der Herzschlagfrequenz. Diese wurde als Grundlage für die Ableitung des zusätzlichen ME-Bedarfs für die Arbeit herangezogen.

Die Empfehlungen zur Versorgung mit Mineralstoffen und Vitaminen wurden ebenfalls neu abgeleitet, wobei die Metabolische Körpergröße als Bezugsgröße gewählt wurde. Auf diese Weise wird die bei der Extrapolation von an unterschiedlich großen und schweren Pferden gewonnenen Versuchsergebnisse auf Tiere abweichender Gewichtsklassen auftretende Verzerrung beseitigt, die darin besteht, dass bei ähnlichem Leistungsniveau die für die Bedarfsdeckung erforderlichen Nährstoffkonzentrationen verschieden schwerer Pferde variieren.

Bei der Ableitung von Anforderungen an die Versorgung mit Grobfuttermitteln zeigte sich, dass übliche Größen zur Beurteilung der Strukturwirksamkeit von Futtermitteln (z. B. Verzehrduer, Kauaktivität, Gehalt an Gerüstsubstanzen) für die Beurteilung von Rationen für Pferde nicht genügen. Es erfolgte daher eine Ableitung auf Basis ethologischer Indikatoren, nach denen Futtersuche und -aufnahme für Equiden ein Grundbedürfnis mit hoher Priorität darstellen. Bei Umsetzung der Neuerungen und sachgerechter Berücksichtigung dieser Empfehlungen können Erkrankungen und Leistungseinbußen aufgrund von Defiziten oder Überschüssen in der Energie- und Nährstoffversorgung weitestgehend ausgeschlossen werden.“

#### Zitierte Literatur

- GfE (1994): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Pferde. DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- GfE (2014): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Pferden. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- NRC (National Research Council) (2007): Nutrient requirements of horses. The National Academies Press, Washington D.C.



# **Tierzucht im Wandel der Zeit: gestern – heute - morgen**

Georg Thaller

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

## **Herausforderung der Nutztierforschung**

Die grundsätzliche Zielsetzung und Vorgehensweise in der Tierzucht hat sich ausgehend von den ersten systematischen Ansätzen im 18ten Jahrhundert nicht wesentlich geändert. Es gilt, aus einer existierenden Population diejenigen Tiere zu selektieren und auf eine Weise zu verpaaren, die eine größtmögliche Verbesserung der Tiere in der nächsten Generation nach sich zieht. Die Richtung der Verbesserung gibt das Zuchtziel vor, welches sich an den Bedürfnissen der Tierhalter, der Konsumenten tierischer Erzeugnisse, der Ernährungsindustrie und im steigenden Ausmaß den Anforderungen der Öffentlichkeit orientiert. Die Nachfrage nach Art und Umfang tierischer Erzeugnisse ist dadurch insbesondere seit dem zweiten Weltkrieg einem steten Wandel unterworfen. Galt es zuerst die Produktion mengenmäßig auszudehnen, so wurden in der Folge immer höhere Anforderungen an die allgemeine (z.B. Fett:Fleisch-Verhältnis) oder die spezifische (z.B. intramuskulärer Fettgehalt) Produktqualität gestellt. Geänderte Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Zusammenhang mit neuen Vermarktungsformen (Discounter) führten zu einer weiteren Diversifizierung des Angebots. Letztendlich werden durch die Gesellschaft Forderungen an die Art und Weise der Erzeugung tierischer Lebensmittel gestellt, ohne dass seitens der Verbraucher eine Bereitschaft dafür höhere Preise zu bezahlen erkennbar ist.

Ein weiterer Aspekt ist die zunehmende Globalisierung der Zucht; Unternehmen operieren über Ländergrenzen und Kontinente hinweg und sollen den jeweiligen Anforderungen gerecht werden. So sind etwa 20% der Weltbevölkerung überernährt mit einem Bedarf an Lebensmitteln mit spezifischen ernährungsphysiologischen Eigenschaften während etwa einer Milliarde Menschen weniger als 25g tierisches Protein pro Tag zur Verfügung steht und damit notwendige Anstrengungen hinsichtlich einer erhöhten und effizienten Produktion unterstreichen.

Es steht außer Zweifel, dass diese gewaltigen Herausforderungen nur mit einem gesteigerten Forschungsaufwand und der konsequenten Umsetzung moderner züchterischer Ansätze begegnet werden kann. Diese umfasst Entwicklungen in

den Bereichen Leistungsprüfung, Zuchtwertschätzung, Biotechnologie sowie in der Ausgestaltung und der Struktur von Zuchtprogrammen.

### Zuchtzielsetzung

Sehr allgemein kann das Zuchtziel als ‚Erstellung von vitalen Tieren, die unter den zukünftigen Produktionsbedingungen einen höchstmöglichen Gewinn sicherstellen‘ definiert werden (Fewson, 1993). Wie bereits erwähnt ist dabei eine Reihe von Merkmalen zu berücksichtigen und sofern diese ökonomisch bewertet werden können lassen sie sich wie folgt zu einem Gesamtzuchtwert aggregieren (Hazel, 1943). Für die erzeugten Güter existieren reguläre Märkte, in denen Qualitätsanforderungen und Bezahlungssysteme kurz- bis mittelfristig festgelegt sind. Der Wert eines Tieres lässt sich an der Summe der von ihm erbrachten Leistungen, gewichtet mit den Marktpreisen unter Berücksichtigung der Aufwendungen feststellen. Die für den Züchtungsprozess notwendigen ökonomischen Gewichte sind dann die Gewichte marginaler Änderungen im genetischen Niveau der Merkmale dieses Tieres. Angesichts stetiger Änderungen in den Anforderungen der Verbraucher und den Rahmenbedingungen für die Erzeugung sind diese relativen Gewichte keine konstanten Größen sondern werden kontinuierlich angepasst bzw. um neue Merkmale erweitert wie dies am Beispiel des Schweins in Abbildung 1 ersichtlich ist (Götz, persönlich Mitteilung).

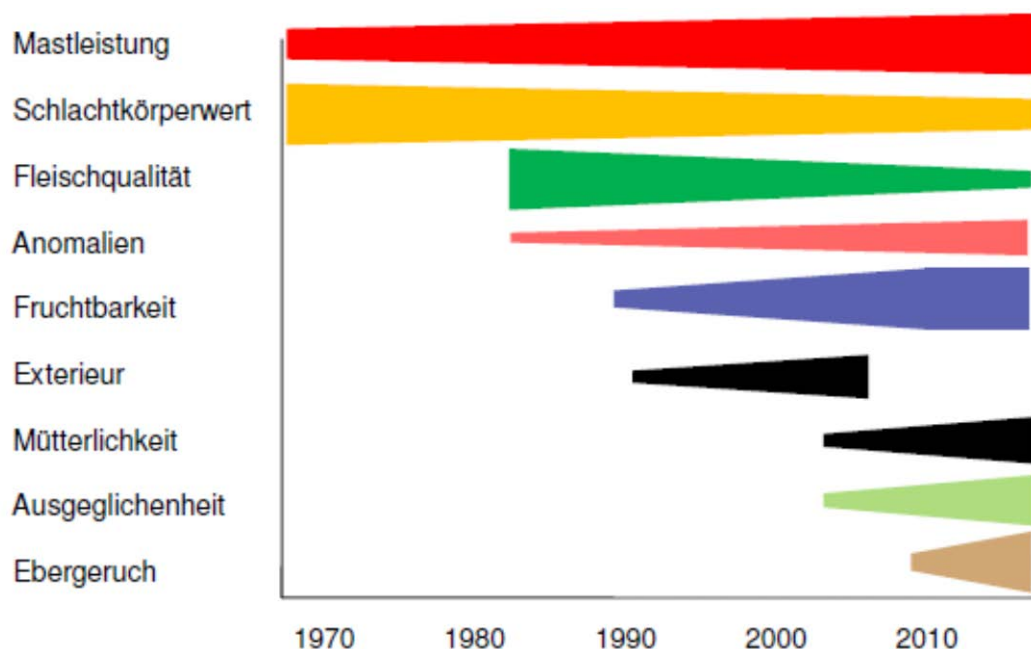


Abb. 1: Relative Bedeutung einzelner Merkmale beim Zuchtziel des Schweins sowie deren Veränderung seit 1970.

Eine Herausforderung stellt die Berücksichtigung sogenannter ‚Nichtgebrauchswerte‘ wie Tierwohl, Erhaltung von Kulturlandschaften und nachhaltige Produktionssysteme dar. Diese sind nur schwer auf der Ebene des Tieres zu bewerten und werden stärker als die Gebrauchswerte von den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen determiniert. Bezüglich der Einbeziehung der gesellschaftlicher Forderungen sind vorab eine Reihe von Überlegungen anzustellen, um zu prüfen, wie sinnvoll es ist, diese im züchterischen Kontext zu bewerten und in das Zuchtziel aufzunehmen: (1) Lassen sich die Ansprüche am individuellen Tier festmachen? (2) Stehen dafür objektiv messbare Größen zur Verfügung? (3) Welcher Mehrwert wird in welchem Zeithorizont realisiert? (4) Profitiert der Verantwortliche für die Selektion von diesem Mehrwert?

### **Entwicklung der Leistungsprüfungen**

Leistungsprüfungen sind eine unabdingbare Voraussetzung für die züchterische Arbeit und verursachen meist die höchsten Kosten in Zuchtprogrammen. Die enormen technischen und infrastrukturellen Entwicklungen ermöglichen gerade in diesem Bereich Fortschritte, die adäquat züchterisch genutzt und umgesetzt werden müssen. Im Vordergrund stand zunächst die Erfassung vergleichsweise einfach zu erhebender Merkmale als Information über den Leistungsstand der Herden für den Landwirt. Im Zuge des verstärkten Einsatzes neuer Technologien konnten in zunehmendem Maße neben den Mengenmerkmalen auch Qualitäts- und funktionale Merkmale geprüft werden. Von großer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die automatisierte Erfassung und Verarbeitung der immer umfangreicher werdenden Messungen. Mit der Sensortechnologie ist es möglich, tierspezifische Parameter wie Bewegung, Temperatur oder pH-Werte im Pansen kontinuierlich zu erheben und sehr dichte Messreihen zu generieren. Die Schwierigkeit besteht aber darin, aus diesen Datenmengen sinnvolle und nützliche Aussagen z.B. über den Gesundheitszustand, das Fruchtbarkeitsgeschehen oder das Wohlbefinden des Einzeltieres abzuleiten. Hierzu sind weitergehende Forschungen im Bereich der Algorithmen z.B. zur Erkennung von Lahmheit, Brunststatus oder Stoffwechselstörungen notwendig. Auf der anderen Seite sind Merkmale von Interesse, die direkt nur sehr aufwändig und kaum im züchterisch erforderlichen Umfang erhoben werden können. Dazu zählt z.B. die Methanemission von Kühen, welcher weltweit ein nicht unerheblicher Beitrag zur Treibhausgasproblematik zukommt. Die exakte Methanproduktion lässt sich am Einzeltier nur in Respirationskammern ermitteln, und selbst dann ist infrage gestellt, ob diese die sonstigen Produktionsbedingungen widerspiegeln. Alternativ dazu werden derzeit verschiedene Ansätze untersucht, um den Methanausstoß quantifizieren zu können. Eine Möglichkeit besteht in der Anwendung von Tracerpistolen, mit denen für kürzere Zeitabstände die Methankonzentration im

Kopfbereich gemessen wird. Eine weitere indirekte Methode ist die Bestimmung der Archeolkonzentration im Kot, dabei handelt es sich um Rückstände methanogener Bakterien aus dem Pansen. Allen indirekten Erfassungen ist gemeinsam, dass sie unter realen Bedingungen kalibriert und verifiziert werden müssen. Aktuell werden sehr intensiv die Nützlichkeit von ‚mid-infrared (MIR)‘-Spektren der Milch hinsichtlich verschiedener Anwendungen untersucht. Neben der Ermittlung spezifischer Produktqualitäten wie z.B. des Fettsäuremusters der Milch richtet sich das Augenmerk auf Indikatoren zur Vorhersage von Krankheiten über identifizierbare Metaboliten. Von hoher Praxisrelevanz dürften zudem Trächtigkeitsdiagnosen sein, die gegebenenfalls über mit Spektren darstellbare Proteinfraktionen in der Milch erfolgen könnte. Der Vorteil der Spektraldaten ist, dass sie im Routineverfahren ohne großen zusätzlichen logistischen Aufwand gewonnen werden können. Hierbei werden aber die enormen Anforderungen an die Datenspeicherung und –verarbeitung deutlich. Etwa 1000 Spektren und damit ein Vielfaches an Informationsmenge zu den üblichen Kennzahlen der Milchuntersuchung können je Probegemelk ermittelt werden. Noch komplexer dürften sich die Rechenalgorithmen erweisen, mit denen aus Mustern verschiedenster Spektren auf züchterisch und im Management verwertbare Merkmale geschlossen werden kann. Es ist jetzt schon zu erkennen, dass die Datenmenge in der Zukunft deutlich schneller steigen wird wie die sich ohnehin rasant entwickelnden Computerkapazitäten. Ein weiterer wesentlicher Schritt ist die Verknüpfung tierindividueller Daten aus unterschiedlichen Informationsquellen in effiziente Datenverbünde. In Teilen, insbesondere bei der Tieridentifikation, der Milchleistungsprüfung und der Zuchtwertschätzung ist dies weitgehend gewährleistet. Defizite bestehen jedoch im Bereich der integralen Erfassung von Krankheitsdiagnosen, Befunden im Zusammenhang mit der Klauenpflege oder Schlachthofbefunden. Konzepte, wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind, sollten mit Nachdruck verfolgt werden.

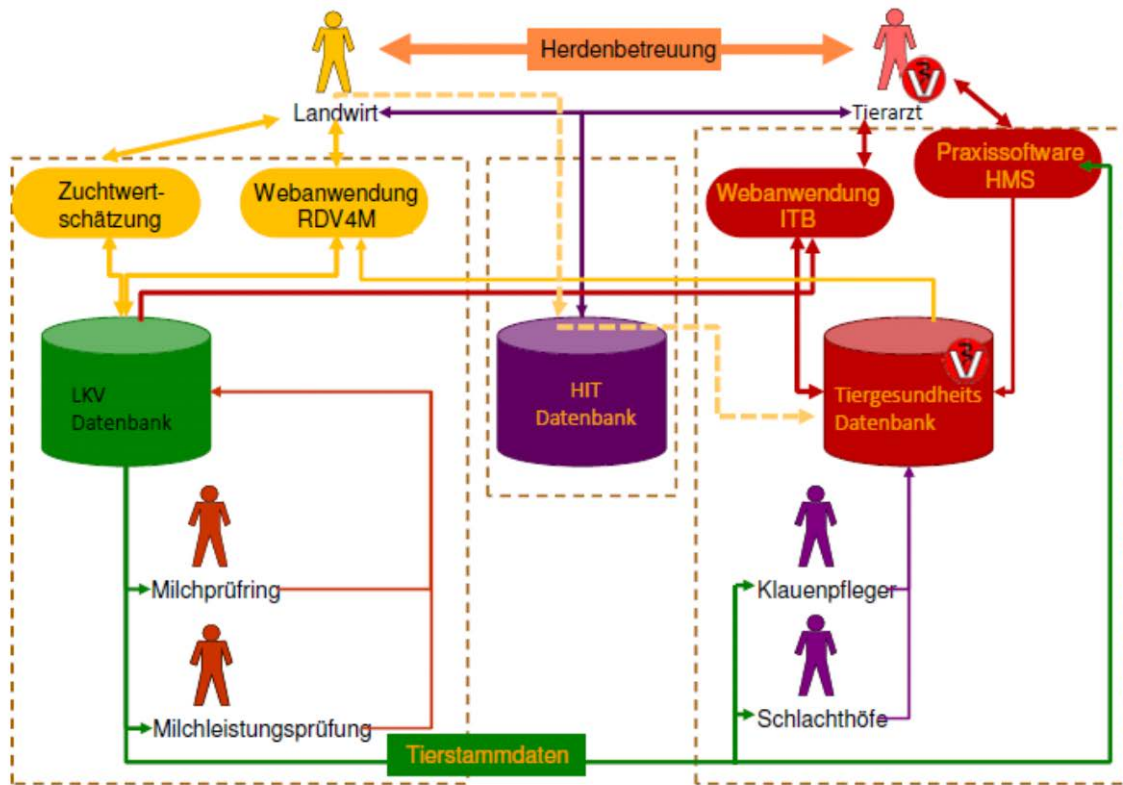


Abb. 2: Integrierte Systeme der Datenerfassung

Die Schwierigkeiten einer Realisierung liegen weniger im technischen Bereich als in der Einbindung aller beteiligten Einrichtungen und Personen, sowie der Festsetzung standardisierter Diagnosen. Es gilt darauf zu achten, dass jeder Akteur z.B. auch in Form zeitnaher Rückmeldungen profitiert und Datenschutz- sowie Zugriffsrechte eindeutig geklärt sind.

### Verfahren der Zuchtwertschätzung

Die theoretischen Grundlagen der Zuchtwertschätzung wurden in der Mitte des letzten Jahrhunderts gelegt. Nachfolgend wurden die genetischen Modelle kontinuierlich weiterentwickelt und den gegebenen Datenstrukturen angepasst. Parallel zur oben genannten Zentralisierung der Datenspeicherung erhöhten sich die Rechnerkapazitäten, so dass immer komplexere Zuchtwertschätzverfahren für alle Tierarten implementiert werden konnten. Die Methode der Wahl ist das BLUP-Verfahren, welches eine von Umwelteffekten bereinigte und unverzerrte Schätzung der Zuchtwerte gewährleistet. Bezüglich der Modellierung stand zu Beginn das Vatermodell basierend auf einer Nachkommenprüfung; dessen Einführung mit Nutzung der künstlichen Besamung ermöglichte substantielle Zuchtfortschritte vor allem über die Bullenpfade. Modifikationen damit einhergehende Verbesserungen ergaben sich durch das Tiermodell und in den späten

90er Jahren durch die Testtagsmodelle, bei denen neben der unmittelbaren Berücksichtigung des Betriebs-Testtags-Effektes den unterschiedlichen genetischen Gegebenheiten im Laufe der Laktation Rechnung getragen werden konnte.

Als Revolution kann die genomische Selektion bezeichnet werden, bei der anhand umfangreicher Lernstichproben SNP-Markereffekte geschätzt werden, die dann die Schätzung von Kandidaten ohne eigene oder ohne Nachkommenleistungen erlauben. Neben der Steigerung des Zuchtfortschritts durch die Verkürzung des Generationsintervalls, der sich in der Milchrinderzucht nahezu verdoppelt hat, den Kosteneinsparungen für die Wartebullenhaltung kann auch die Selektionsintensität stark erhöht werden, die derzeit 1:50 (früher 1:10) beträgt. Der Vorteil ist, dass damit ‚komplette‘ Bullen angeboten werden können, die in nahezu allen Merkmalen überdurchschnittlich vererben, was insbesondere den funktionalen Merkmalen zu Gute kommt. Die Auswirkungen der jeweiligen Technologiesprünge auf die Zuchtfortschritte des Gesamtzuchtwerts und der einzelnen Merkmalskomplexe ist in Abbildung 3 dargestellt.

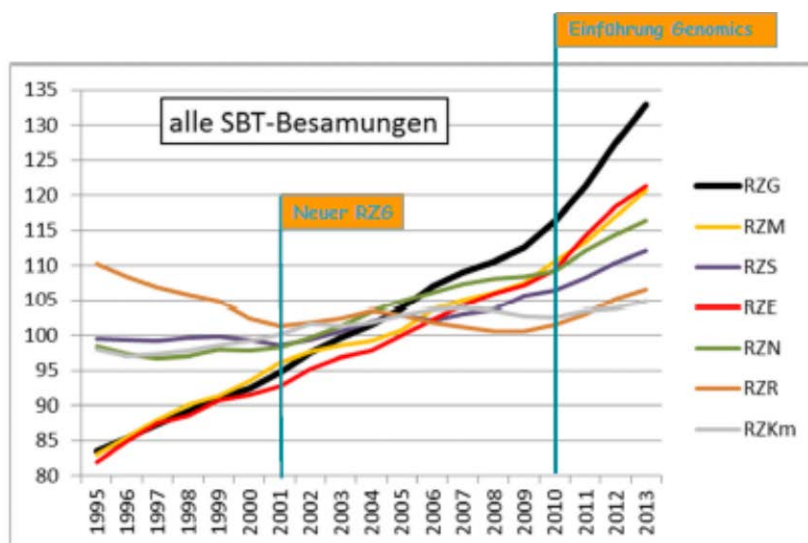


Abb. 3: Zuchtfortschritte für den Gesamtzuchtwert (RZG) sowie für die Merkmalskomplexe Milch (RZM), Zellzahl (RZS), Exterieur (RZE), Nutzungsdauer (RZN), Fruchtbarkeit (RZR) sowie maternaler Kalbeverlauf (RZKm) in den Jahren 1995 bis 2013. Das Mittel der Jahrgänge 2003-2005 ist auf 100 gesetzt.

Zunehmend wurde beim Milchrind auch der Internationalisierung des Zuchtgeschehens Rechnung getragen, um den Landwirten und Zuchtorganisationen über Länder hinweg vergleichbare Zuchtwerte an die Hand zu geben. Im Gegensatz dazu werden beim Schwein oder beim Geflügel separate Zuchtwertschätzungen innerhalb Unternehmen oder Herdbuchzuchten durchgeführt. Die

Kosten-Nutzen-Relation der genomischen Selektion ist dort weniger stark ausgeprägt, es werden dort aber auch in Zukunft modifizierte Verfahren etabliert werden.

## **Nutzung Biotechnologie**

Der züchterische Fortschritt war stets begleitet von innovativen biotechnologischen Verfahren. Diese unterscheiden sich in der Bewertung nach technischer Ausgereiftheit, züchterischem Mehrwert, gesellschaftlicher Akzeptanz sowie in der Kosteneffizienz. In diesem Zusammenhang hat die künstliche Besamung in der Vergangenheit zweifellos die größte Bedeutung und bei allen Tierarten Einzug gehalten. Mit Hilfe des Embryotransfers war es auch möglich, die geringe Reproduktionskapazität auf der weiblichen Seite zu verbessern. Insbesondere in Spitzenzuchten wurde das MOET-Verfahren etabliert, wobei mit der Superovulation die Anzahl transfertauglicher Embryonen deutlich erhöht werden konnte. Weniger erfolgreich waren die ersten Ansätze der markergestützten Selektion da nur ein Teil der genetischen Variation abgegriffen werden konnte und die erforderlichen Selektionsstrategien nur sehr aufwändig in die praktischen Zuchtarbeit zu integrieren waren.

Die Klonierung ist neben der geringen gesellschaftlichen Akzeptanz an sich kein tierzüchterisches Verfahren und spielt daher ebenso wenig eine Rolle wie die Erzeugung transgener Tiere. Diese haben vorwiegend im medizinischen Bereich wie der Xenotransplantation eine Bedeutung. Allerdings zeichnen sich derzeit neue Möglichkeiten ab, gezielt im Genom einzelne Bausteine auszutauschen. Damit wäre es z.B. in Zukunft möglich, kausale Mutationen, die zu Erbfehlern führen, zu beheben. Zweifellos ist hier ein gesellschaftlicher Diskurs vonnöten, es gilt aber zu bedenken, dass jede Population eine Letalbürde mit sich trägt und sequenzbasierte Ansätze derzeit eine Vielzahl neuer Erbfehler identifizieren.

Eine zukunftssträchtige Technologie ist das Sexen von Sperma oder bei Geflügel die Geschlechtererkennung in Eiern. Neben züchterischen Anwendungen können diese Verfahren auch eingesetzt werden, um Aspekten des Tierwohls und der gesellschaftlichen Relevanz stärker Rechnung zu tragen. Beispielhaft sei hier die Kastration beim Schwein oder das Töten von Eintagsküken in der Legehennenzucht erwähnt.

## **Zuchtprogramme**

Die Entwicklungen in den einzelnen Teilgebieten haben dazu geführt, dass die Zuchtprogramme fortwährend modifiziert und angepasst wurden, um daraus den größten Nutzen zu ziehen. Während in der Vergangenheit die Herdbuchzucht

dominierte, war ab den 70er Jahren die Hybridzucht vor allem beim Schwein und Geflügel die treibende Kraft für die Strukturierung in Form von Zuchtpyramiden nach Nukleuszuchten, Vermehrungsbetriebe und die Produktionsstufe. Diese Entwicklung wird in abgeschwächter Form sich in Zukunft auch beim Rind fortsetzen. Insbesondere die kombinierte Nutzung von genomischen Verfahren und der Sexingtechnologie könnte für die Betriebe Vorteile in der innerbetrieblichen Selektion, der genombasierten Anpaarung und dem Einsatz von Gebrauchskreuzung bringen. Die Zuchtorganisationen sind gefordert, diese innovativen Möglichkeiten in adäquaten Zucht Konzepten umzusetzen um die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten.

### **Fazit**

Die Tierzucht ist einem steten Wandel unterworfen, welcher maßgeblich von den Ansprüchen der Gesellschaft, den technischen Möglichkeiten und technologischen Fortschritten bestimmt wird. Bezüglich der Zuchtziele werden in Zukunft noch stärker gesellschaftliche Aspekte zu beachten sein, die konkrete Ausgestaltung und sich ergebenden Konsequenzen sind Gegenstand aktueller Diskussionen. Im Bereich der Leistungsprüfungen werden verstärkt automatisierte Erfassungssysteme auf Betrieben eingesetzt werden. Dafür gilt es für die züchterische Nutzung Datenverbünde zu erstellen, die soweit möglich integral sämtliche Informationsquellen auch aus nachgelagerten Bereichen einbeziehen. Zur nutzbringenden Umsetzung sind effiziente Datenhaltungs- und -verarbeitungssysteme erforderlich. Dies kann nur unter Einbeziehung und Abwägung der Interessen aller Beteiligten erfolgen. Neue Biotechnologien werden zu Änderungen in den Zuchtsystemen führen, können aber Lösungen bieten, die sowohl dem züchterischen Fortschritt als auch gesellschaftlichen Forderungen gerecht werden.



## Sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe beim Wiederkäuer systemisch verfügbar? – Untersuchungen mit dem Flavonol Quercetin

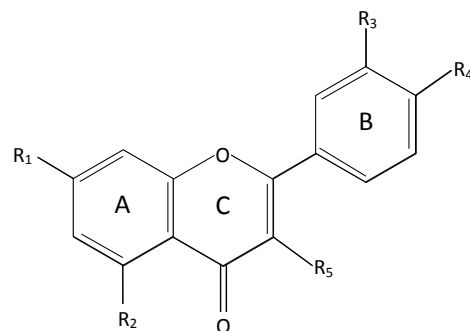
Siegfried Wolfram

Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie

### *Vorkommen und Aufnahme von Flavonoiden bei Nutztieren*

Flavonoide sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, die in Nahrungs- und Futtermitteln pflanzlichen Ursprungs ubiquitär enthalten sind. Neben den Phenolsäuren, Lignanen und Stilbenen gehören sie zur Gruppe der pflanzlichen Polyphenole und stellen dort mit mehr als 5.000 bisher identifizierten Flavonoiden die größte Gruppe dar [1;2]. Die Grundstruktur von Flavonoiden (Abb. 1) umfasst drei Kohlenstoffringe mit zwei aromatischen und einem O-heterozyklischen Ring. Die große Variabilität der Flavonoide beruht auf dem unterschiedlichen Hydroxylierungs- und/oder Methylierungsmuster der drei Ringe sowie vor allem auf Art, Anzahl und Anordnung nicht acylierter und acylierter Zuckerreste [3]. Flavonoide können je nach Sättigungs- und Oxidationsgrad des heterozyklischen Ringes in sechs Unterklassen eingeteilt werden. Dazu zählen Flavanole, Flavanone, Flavone (z. B. Apigenin, Luteolin), Flavonole, Anthocyanidine und Isoflavone [4]. In der Unterklasse der Flavonole ist Quercetin in der Nahrung von Mensch und Tier am weitesten verbreitet und daher häufig Gegenstand von Untersuchungen [5]. In der Pflanze liegt Quercetin jedoch selten in freier Form als Aglycon, sondern meistens an verschiedene Zucker gebunden in Form von Quercetinglycosiden vor. In den meisten Fällen erfolgt die Verknüpfung mit dem Zuckerrest mittels  $\beta$ -O-glycosidischer Bindung [5]. Glucose ist dabei der am häufigsten vorkommende Zucker, allerdings kommen auch Glycosylierungen mit Arabinose, Galaktose, Lignin, Rhamnose und Xylose sowie Kombinationen dieser Zucker (Di- oder Trisaccharide) vor [6]. So entsteht beispielsweise durch Verknüpfung des Quercetins mit einem Disaccharid aus Glucose und Rhamnose (Rutinose) in Position C-3 das Glucorhamnosid Rutin.

Abbildung 1: Strukturformeln von Quercetin, Rutin und Kämpferol sowie der Quercetinmetabolite mit intakter Flavonolstruktur; Quercetin: R1, R2, R3, R4, R5 = OH; Rutin: R1, R2, R3, R4 = OH, R5 = O-Glucorhamnose; Kämpferol: R1, R2, R4, R5 = OH, R3 = H; Isorhamnetin: R1, R2, R4, R5 = OH, R3 = OCH<sub>3</sub>; Tamarixetin: R1, R2, R3, R5 = OH, R4



Neben unterschiedlichen Nahrungsmitteln enthalten auch diverse Futtermittel für Nutztiere Flavonoide. Demzufolge werden sie in unterschiedlichen Mengen mit der regulären Ration aufgenommen. Besle et al. [7] untersuchten verschiedene Futtermittel aus der Milchviehhaltung auf ihren Polyphenolgehalt. Grünfütter wies den höchsten (35,3 g/kg TM) und Maissilage (3,2 g/kg TM) den niedrigsten Polyphenolgehalt der in der Studie untersuchten Futtermittel auf. In Bezug auf die Quercetingehalte der Futtermittel wurde Weidelgrassilage mit 0,68 g/kg TM angegeben, wohingegen das Flavonol in Grünfütter und Maissilage nicht quantifiziert werden konnte. In der Datenbank des United States Department of Agriculture (USDA) sind die Flavonoidgehalte verschiedener ausgewählter Nahrungs- bzw. Futtermittel aufgelistet [8]. Mittlerweile werden zahlreiche Pflanzenextrakte, welche teilweise beträchtliche Konzentrationen an polyphenolischen Verbindungen einschließlich verschiedener Flavonole enthalten, kommerziell vertrieben. Diese sollen ergänzend zur Ration eingesetzt werden mit dem Ziel, die Leistung zu erhöhen sowie den Gesundheitsstatus der Tiere positiv zu beeinflussen. Mit Hinblick auf das seit 1. Januar 2006 in der Europäischen Union geltende Verbot über den Einsatz von Antibiotika als leistungsfördernde Futterzusatzstoffe (Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung), kann der Einsatz flavonolhaltiger Pflanzenextrakte als vielversprechende Alternative angesehen werden [9-11].

### ***Biologische Effekte von Flavonolen***

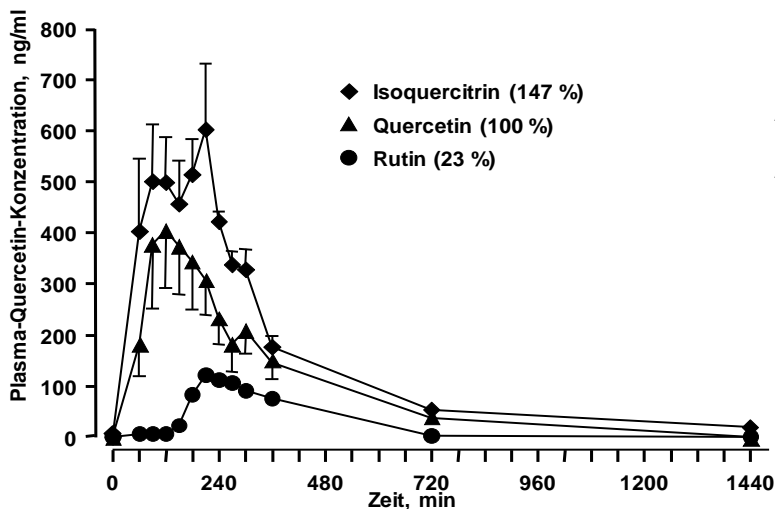
Flavonole sowie deren Glykoside besitzen diverse potenziell gesundheitsfördernde Effekte, die in zahlreichen Studien nachgewiesen wurden. Allerdings handelt es sich dabei überwiegend um Untersuchungen an Zellkulturen bzw. Labornagern und Menschen. Zu den etablierten/postulierten Wirkungen zählen antiinflammatorische, antioxidative, antivirale, antimikrobielle und antikanzerogene Wirkungen [12].

Im Hinblick auf mögliche biologische Wirkungen von Flavonolen beim Wiederkäuer ist kritisch anzumerken, dass die in der Literatur vorliegenden Ergebnisse hinsichtlich Wirkungen und Wirkungsweisen von Quercetin bzw. Flavonolen überwiegend unter *in vitro*-Bedingungen ermittelt wurden [12] und dass die vorliegenden Studien bis auf wenige, die die antimikrobielle Wirkung betreffen [13;14;15-18], ausschließlich an monogastrischen Spezies durchgeführt wurden. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass viele der Effekte aus *in vitro*-Studien auch *in vivo* Relevanz haben und zumindest teilweise auf den Wiederkäuer übertragbar sind.

### ***Bioverfügbarkeit von Quercetin beim Schwein***

Da, wie später gezeigt, Befunde zur Bioverfügbarkeit von Quercetin aus verschiedenen Quellen beim Wiederkäuer erheblich von entsprechenden Befunden bei monogastrischen Spezies abweichen, sollen an dieser Stelle zunächst die zentralen Befunde bei monogastrischen Spezies am Beispiel Schwein kurz dargestellt werden. Die orale Bioverfügbarkeit einer Substanz beschreibt die nach oraler Applikation systemisch verfügbare Menge der Substanz im Organismus, die letztendlich für biologische Wirkungen verfügbar ist. Üblicherweise wird die Bioverfügbarkeit anhand der Fläche unter der Plasmakonzentrations-Zeit-Kurve (AUC) erfasst [19].

Ein entscheidender Faktor für die Absorption von Quercetin ist zunächst die chemische Form, in der das Flavonol verfüttert wird. So ist die Bioverfügbarkeit von Quercetin nach Applikation von Rutin, dem Glucorhamnosid von Quercetin, deutlich geringer (ca. 20 %) als nach Anwendung des Aglykons (freie, nicht glykosylierte Form, 100 %), wohingegen die Zufuhr des Quercetin-Monoglucosids Isoquercitrin eine Verfügbarkeit von Quercetin von ca. 150 % zeigt [20].



**Abb.2:** Plasmakonzentrationszeitkurven von Quercetin nach oraler Applikation von 50 mg Quercetin/kg KGW als Quercetin-Aglykon, Isoquercitrin (Quercetin-3-O-Glukosid) oder Rutin. Werte in Klammern = Relative Bioverfügbarkeit, [20].

Unabhängig von der chemischen Form, in der Quercetin appliziert wird, erfolgt bereits während des Transfers durch die Darmschleimhaut sowie bei der Passage durch die Leber ein umfangreicher first-pass-Metabolismus bzw. eine Resekretion. Dabei wird ein Teil (20-30 %) des absorbierten Quercetins in der Schleimhaut bzw. postabsorptiv zu Isorhamnetin bzw. Tamarixetin methyliert wird bzw. zu Käempferol dehydroxyliert [19]. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass Quercetin bzw. dessen Metaboliten mit intakter Flavonolstruktur zu ungefähr 90 % in der Darmschleimhaut bzw. in Leber zu Glucuroniden bzw. Sulfaten konjugiert werden und so im Blut zirkulieren.

### ***Einfluss von Quercetin auf ruminale Fermentationsprozesse***

Im Unterschied zu monogastrischen Spezies sind beim Wiederkäuer dem Labmagen bzw. Darmtrakt die Vormägen vorgeschaltet. Ähnlich wie dies im Dickdarm aller Spezies erfolgt, kann davon ausgegangen werden, dass Quercetin und andere Flavonoide bei der Pansenpassage bereits in großem Umfang einer mikrobiellen Degradation unterliegen. Ferner könnte durch Quercetin die Fermentation in den Vormägen beeinflusst werden. Deshalb wurde zunächst der Einfluss von Quercetin auf ruminale Fermentationsprozesse (*in vivo*, *in vitro*) sowie der mikrobielle Abbau von Quercetin (*in vitro*) untersucht. In Konzentrationen von 10 bzw. 50 mg/kg KM hatte Quercetin weder einen Einfluss auf die Konzentration und das molare Verhältnis kurzkettiger Fettsäuren in den Vormägen von Rindern, noch zeigte sich im Hohenheimer Futterwerttest (HFT) ein Einfluss auf die Gas- bzw. Methanbildung. Mit Hilfe des HFT konnte des Weiteren ein rascher und umfangreicher mikrobieller Abbau von freiem Quercetin in den Vormägen gezeigt werden.

### ***Bioverfügbarkeit von Quercetin beim Wiederkäuer***

Im Rahmen der eigenen Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von Quercetin aus verschiedenen Quellen wurde zunächst der Einfluss des Zuckerrestes auf die Verfügbarkeit von Quercetin untersucht. Dazu wurde pansenfistulierten nicht laktierenden Kühen Quercetin in einer Dosierung von 10 bzw. 50 mg/kg KM entweder in Form des Aglykons oder in Form von Rutin intraruminal appliziert. Dabei zeigte sich abweichend von allen Befunden bei monogastrischen Spezies, dass die Bioverfügbarkeit aus dem Quercetin-Glykosid Rutin wesentlich höher als nach Applikation des Aglykons ist (Tab. 1) [21].

**Tabelle 1: Pharmakokinetische Parameter und relative Bioverfügbarkeit nach intraruminaler Applikation von 50 mg Quercetinäquivalenten/kg KM als Quercetin-Aglycon bzw. Rutin.**

	Quercetin	Rutin
$c_{\max}$ , <sup>1</sup> $\mu\text{mol/l}$	$0,09 \pm 0,01^a$	$1,0 \pm 0,10^b$
$\text{AUC}_{\text{total}}$ , <sup>2</sup> $\text{min} \times \mu\text{mol/l}$	$10,94 \pm 1,76^a$	$83,96 \pm 9,35^b$
Relative Bioverfügbarkeit, <sup>4</sup> %	100	767,3

<sup>1, 2, 3</sup> Mittelwerte  $\pm$  SEM, n = 5. Mittelwerte in einer Zeile ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, P < 0,05; <sup>1</sup> $c_{\max}$ , maximale Plasmakonzentration der Gesamtflavonole, <sup>2</sup> $t_{\max}$ , Zeit zwischen Applikation der Testsubstanz und Erreichen von  $c_{\max}$ , <sup>3</sup> $\text{AUC}_{\text{total}}$ , Fläche unter der Plasmakonzentrations-Zeitkurve für die Gesamtflavonole (Quercetin, Isorhamnetin, Tamarixetin, Kämpferol); <sup>4</sup>Relative Bioverfügbarkeit der Gesamtflavonole berechnet aus den mittleren  $\text{AUC}_{\text{total}}$ -Werten.

Parallele Versuche mit duodenal fistulierten Kühen ergaben hingegen, dass nach Applikation von Quercetin-Aglykon bzw. Rutin in das Duodenum die Ergebnisse zur Bioverfügbarkeit den Befunden bei monogastrischen Spezies entsprechen [22].

Eine weitere Reihe von Versuchen mit pansenfistulierten nicht laktierenden Kühen hatte zum Ziel, mögliche Einflüsse einer Applikation von Quercetin-Aglykon zusammen mit einem kommerziellen Futterfett für Kühe zu untersuchen, da zumindest das Quercetin-Aglykon nur eine relativ geringe Wasserlöslichkeit aufweist. Dazu wurden 50 mg Quercetinäquivalente/kg KM entweder in Form von Quercetin-angereicherten Fettpellets, demselben Fett in Pulverform zusammen mit freiem Quercetin-Aglykon sowie in Form von Rutin bzw. Quercetin-Aglykon ohne Fett appliziert (Tab. 2).

**Tab. 2:** Pharmakokinetische Parameter nach intraruminaler Applikation von 50 mg Quercetinäquivalenten /kg KM als Quercetin-Aglykon (Q), Rutin (R), Q-angereichertem Futterfett in pelletierter Form (PQ), pulverförmigem Futterfett+freiem Q (FQ) sowie ohne Q-Applikation (K)

	Behandlung				
	K	PQ	Q	R	FQ
$c_{\max}^1$	9,2 ± 2,2 <sup>a</sup>	11,1 ± 2,2 <sup>a</sup>	42,8 ± 11,2 <sup>a</sup>	590,3 ± 224,8 <sup>b</sup>	86,4 ± 17,1 <sup>a</sup>
$t_{\max}^2$	1,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	15,2 ± 1,9 <sup>b</sup>	2,1 ± 1,0 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,8 ± 4,1 <sup>a</sup>
$AUC_{0-24}^3$	35,2 ± 10,2 <sup>a</sup>	134,2 ± 29,6 <sup>a</sup>	129,1 ± 12,4 <sup>a</sup>	810,8 ± 212,8 <sup>b</sup>	258,0 ± 97,0 <sup>a</sup>

MW ± SEM, n = 5; Werte ohne gemeinsamen Buchstaben in einer Zeile unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ ); <sup>1</sup>  $c_{\max}$  [nmol/l], maximale Plasmakonzentration; <sup>2</sup>  $t_{\max}$  [h], Zeit bis zum Erreichen von  $c_{\max}$ ;

<sup>3</sup>  $AUC_{0-24}$  [nmol/l × min], Fläche unter der Plasmakonzentrations-Zeitkurve (0 bis 24 h) für die Gesamtflavonole (Quercetin + Kaempferol + Isorhamnetin + Tamarixetin)

Auch in diesem Versuch ergab sich die höchste Bioverfügbarkeit von Quercetin nach Verabreichung von Rutin. Weder die Verwendung von mit Quercetin angereichertem Futterfett in Pelletform noch die gleichzeitige Gabe des Fettes zusammen mit Quercetin führte zu signifikanten Unterschieden im Vergleich zur Verwendung von Quercetin-Aglykon (Tab. 2).

Eine potenziell interessante, natürliche Quelle für Quercetin sind auch Zwiebelchalen- bzw. Zwiebelextrakte. In Zwiebelchalen ist v. a. das Quercetin-Aglykon enthalten, während Zwiebelextrakte neben Quercetin auch verschiedene Quercetin-Glykoside (ca. im Verhältnis von 1:1) enthalten. In einer letzten Versuchsreihe wurde an pansenfistulierten, nicht-laktierenden Kühen die Bioverfügbarkeit aus einem kommerziellen Zwiebelchalen- bzw. Zwiebelextrakt im Vergleich zu Rutin und dem Quercetin-Aglykon in einer Dosierung von 50 mg Quercetinäquivalenten/kg KM untersucht (Tab. 3). Während die Bioverfügbarkeit von Quercetin aus dem Zwiebelchalenextrakt ähnlich niedrig wie bei Verwendung des Quercetin-Aglykons war, ergab sich für das Zwiebelex-

ktrakt ein signifikant höhere Wert, der sogar in der Tendenz ( $p = 0,0508$ ) höher als der für Rutin berechnete Wert war. Somit scheint Quercetin aus dem Zwiebelextrakt im Vergleich zu Rutin eine höhere Bioverfügbarkeit aufzuweisen (Tab. 3)

**Tab. 3:** Pharmakokinetische Parameter nach intraruminaler Applikation von 50 mg Quercetin-äquivalenten/kg KM als Rutin (R), Quercetin-Aglykon (Q), Zwiebelschalenextrakt (ZSE) und Zwiebelextrakt (ZE)

	Behandlung			
	R	Q	ZSE	ZE
$c_{\max}^1$ [nmol/l]	950,8 ± 255,5 <sup>a</sup>	109,7 ± 42,9 <sup>b</sup>	96,7 ± 10,6 <sup>b</sup>	1647,7 ± 195,9 <sup>c</sup>
$AUC_{0-24}^2$ [nmol/l x min]	1547,5 ± 495,5 <sup>a</sup>	379,1 ± 84,8 <sup>b</sup>	265,9 ± 53,8 <sup>b</sup>	2349,3 ± 343,5 <sup>a</sup>

MW ± SEM, n = 3; Werte ohne gemeinsamen Buchstaben in einer Zeile unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ ); <sup>1</sup>  $c_{\max}$ , maximale Plasmakonzentration; <sup>2</sup>  $t_{\max}$ , Zeit bis zum Erreichen von  $c_{\max}$ ; <sup>3</sup>  $AUC_{0-24}$ , Fläche unter der Plasmakonzentrations-Zeitkurve (0 bis 24 h) für die Gesamtflavonole (Quercetin + Kaempferol + Isorhamnetin + Tamarixetin)

### **Zusammenfassung**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei der Kuh, abweichend von sämtlichen Befunden bei monogastrischen Spezies, die Bioverfügbarkeit von Quercetin aus dem Quercetin-Glykosid Rutin deutlich höher als nach Applikation des Aglykons ist. Versuche mit duodenal fistulierten Kühen ergaben hingegen, dass bei Applikation von Quercetin (Aglykon bzw. Rutin) in das Duodenum die Verhältnisse bei der Kuh durchaus mit den Befunden bei monogastrischen Spezies vergleichbar sind. Die Untersuchungen mit dem Zwiebelextrakt weisen ferner darauf hin, dass die darin enthaltenen Quercetin-Glykoside im Vergleich zu Rutin eine höhere Bioverfügbarkeit von Quercetin aufweisen. Des Weiteren konnten wir zeigen, dass Quercetin in den in unseren Versuchen verwendeten Dosierungen die Fermentation und Gasbildung in den Vormägen nicht beeinflusst. Allerdings unterliegt Quercetin einem umfangreichen mikrobiellen Abbau.

### **Literatur**

1. Beecher G.R. (2003): Overview of dietary flavonoids: nomenclature, occurrence and intake. J. Nutr. 133, 3248S-3254S.
2. Scalbert A., Williamson G. (2000): Dietary intake and bioavailability of polyphenols. J. Nutr. 130, 2073S-2085S.
3. Harborne J.B., Williams C.A. (2000): Advances in flavonoid research since 1992. Phytochem. 55, 481-504.

4. Ross J.A., Kasum C.M. (2002): Dietary flavonoids: Bioavailability, Metabolic Effects, and Safety. *Annu. Rev. Nutr.* 22, 19-34.
5. Aherne S.A., O'Brien N.M. (2002): Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutr.* 18, 75-81.
6. Kühnau J. (1976): The flavonoids. A class of semi-essential food components: their role in human nutrition. *World Rev. Nutr. Dietetics* 24, 117-191.
7. Besle J.M., Viala D., Martin B., Pradel P., Meunier B., Berdagué J.L., Fraisse D., Lamaison J.L., Coulon J.B. (2010): Ultraviolet-absorbing compounds in milk are related to forage polyphenols. *J. Dairy Sci.* 93, 2846-2856.
8. USDA. USDA database for the flavonoid content of selected foods-Release 3. 2011. Ref Type: Internet Communication
9. Greathead H. (2003): Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proc. Nutr. Soc.* 62, 279-290.
10. Jouany J.-P. (2006): Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows. *Anim. Reprod. Sci.* 96, 250-264.
11. Patra A.K., Saxena J. (2010): A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochem.* 71, 1198-1222.
12. Middleton E., Kandaswami C., Theoharides T.C. (2000): The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacol. Reviews* 52, 673-751.
13. Leiber F., Kunz C., Kreuzer M. (2012): Influence of different morphological parts of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and its major secondary metabolite rutin on rumen fermentation in vitro. *Czech. J. Anim. Sci.* 57, 10-18.
14. Broudiscou L.-P., Papon Y., Broudiscou A.F. (2000): Effects of dry plant extracts on fermentation and methanogenesis in continuous culture of rumen microbes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87, 263-277.
15. Bodas R., López S., Fernández M., García-González R., Rodríguez A.B., Wallace R.J., González J.S. (2008): In vitro screening of the potential of numerous plant species as antimethanogenic feed additives for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145, 245-258.
16. Broudiscou L.-P., Lassalas B. (2000): Effects of *Lavandula officinalis* and *Equisetum arvense* dry extracts and isoquercitrin on the fermentation of diets varying in forage contents by rumen microorganisms in batch culture. *Reprod. Nutr. Dev.* 40, 431-440.
17. Broudiscou L.-P., Papon Y., Broudiscou A.F. (2002): Effects of dry plant extracts on feed degradation and the production of rumen microbial biomass in a dual outflow fermenter. *Anim. Feed Sci. Technol.* 101, 183-189.
18. Lourenço M., Cardozo P.W., Calsamiglia S., Fievez V. (2008): Effects of saponins, quercetin, eugenol, and cinnamaldehyde on fatty acid biohydrogenation of forage polyunsaturated fatty acids in dual-flow continuous culture fermenters. *J. Anim. Sci.* 86, 3045-3053.
19. Lesser S., Wolfram S. (2006): Oral bioavailability of the flavonol quercetin – A review. *Curr. Top. Nutraceut. Res.* 4, 239-256.
20. Cermak R., Landgraf S., Wolfram S. (2003): The bioavailability of quercetin in pigs depends on the glycoside moiety and on dietary factors. *J. Nutr.* 133, 2802-2807.
21. Berger L.M., Wein S., Blank R., Metges C., Wolfram S. (2012): Bioavailability of the flavonol Quercetin in cows after intraruminal application of Quercetin and Rutin. *J. Dairy Sci.* 95, 5047-5055.

22. Gohlke A., Ingelmann C.J., Nürnberg G., Starke A., Wolfram S., Metges C.C. (2013): Bioavailability of Quercetin from its aglycone and its glucorhamnosid Rutin in lactating dairy cows after intra-duodenal administration. *J. Dairy Sci* 96, 2303-2313.



# **Entwicklung und Herausforderungen des tiergerechten maschinellen Milchentzugs**

Angelika Häußermann und Eberhard Hartung

Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik

## **Einleitung**

In Deutschland wurden im Jahr 2014 insgesamt 4,3 Mio. Milchkühe und etwa 77.000 Milchviehbetriebe gezählt. Davon fallen auf Schleswig-Holstein knapp 400.000 Milchkühe und etwa 4.500 Betriebe (Statistisches Bundesamt, 2014). Die Anzahl an Kühen je Betrieb variiert sowohl regional als auch von Betrieb zu Betrieb deutlich. So werden in Milchviehbetrieben in Bayern und Baden-Württemberg im Schnitt nur etwa 35-40 Kühe je Betrieb gemolken, während Betriebe in den Ostdeutschen Bundesländern, wie Mecklenburg-Vorpommern, und Sachsen-Anhalt, im Mittel gut 200 Kühe je Betrieb melken (Statistisches Bundesamt, 2014). Schleswig-Holstein weist, mit 88 Tieren im Betriebsmittel - und im Mittel 100 Tieren in Betrieben, die an der Milchleistungsprüfung teilnahmen (3373 MLP-Betriebe, LKV 2014) - eine Betriebsgröße auf, die in den vergangenen Jahren deutlich gewachsen ist (seit 2010 ca. 5 % pro Jahr im Mittel der MLP-Betriebe, LKV 2014), gleichzeitig jedoch noch immer durch eine große Anzahl an Familienbetrieben geprägt ist.

Die Wahl des Melksystems ist zum einen durch die Betriebsgröße und Arbeitskräfteverfügbarkeit geprägt, zum anderen richtet sie sich nach den technischen Besonderheiten der verschiedenen Systeme und Anforderungen, die die Milch-erzeuger an den maschinellen Milchentzug stellen. Hierzu zählen unter anderem die erzielbare Leistung an Kühen je AKh, der Automatisierungsgrad, die Auswirkung auf Melkdauer, Ausmelkgrad und Eutergesundheit und das Wohlbefinden von Mensch und Tier. In Schleswig-Holstein wurden im Jahr 2010 in den MLP-Betrieben noch 12 % der Tiere in Anbindehaltung gemolken, 85 % im Melkstand und 3 % in einem Automatischen Melksystem (LKV 2010). Die Automatisierung der einzelnen Arbeitsschritte bis hin zur Automatisierung des kompletten Melkvorgangs, inklusive Leistungs- und Gesundheitsüberwachung, und, in Verbindung damit, die sensorische Ausstattung der Melksysteme hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen, so dass Arbeitsroutinen, Regel- und Steuerprozesse grundsätzlich einzeltierbezogen durchgeführt werden können. Neben der Ausstattung des Melksystems ergibt

sich bei einer Betriebserweiterung darüber hinaus häufig die Frage ob der Melkstandtyp - die Mehrzahl der Betriebe ist mit einem Gruppenmelkstand in Fischgrätenaufstellung ausgestattet (68 % der MLP-Betriebe in Schleswig-Holstein, LKV 2010) - grundsätzlich beibehalten werden soll oder ein Wechsel, z.B. zu einem Karussell oder Automatischen Melksystem, sinnvoll erscheint. Bei dieser Frage rücken in vielen Fällen die personelle Ausstattung des Betriebs und/oder die erzielbare Leistung bzgl. der Anzahl an Kühen die je AKh gemolken werden können, in den Vordergrund, wohingegen die Auswirkung auf die Qualität des Melkvorgangs, wie auch die Möglichkeiten und Grenzen des jeweiligen Melksystems, mitunter nicht bekannt sind oder zu gering gewichtet werden. Profunde Kenntnisse hierzu sind unabdingbar, um Fehlinvestitionen langfristig zu vermeiden und die Leistungsfähigkeit und Gesundheit des Tieres zu erhalten. Aus Sicht des Tieres sollte der Milchentzug vollständig, schonend und zügig von Statten gehen. Auswirkungen ungünstig gestalteter Melkbedingungen auf die Melkdauer, den Ausmelkgrad, die Eutergesundheit, das Wohlbefinden und die Zufriedenheit von Mensch und Tier sind durchaus zu erwarten, wobei nicht jede Melkstandform eine bestmögliche Ausstattung und Einstellung der Melkanlage ermöglicht.

Zu den aktuellen Entwicklungen und Herausforderung des maschinellen Milchentzugs zählen unverkennbar die zunehmende Automatisierung des Melksystems in Verbindung mit dessen technischer und sensorischer Ausstattung (Brandt et al., 2010). Diese ermöglicht grundsätzlich eine standardisierte Routine und eine gute Überwachung des Melkvorgangs und der Tiergesundheit. Sie weist jedoch auch Lücken auf bezüglich der Genauigkeit der Durchführung der Arbeitsschritte und der sensorischen Genauigkeit, z.B. mit Blick auf die sichere Erkennung von Eutererkrankungen (Brandt, 2012). Es ist daher wichtig, dass zusätzliche Maßnahmen, wie die effektive Melkbecher- und Zitendesinfektion einer möglichen Erregerübertragung entgegenwirken bzw. die Milchdrüse nachträglich vor einer Infektion schützen. Zu den aktuellen Herausforderungen zählen darüber hinaus die Verbesserung einzeltierbezogener Steuer- und Regelprozesse und auch weiterhin ein zitzenschonender Milchentzug, bei dem die natürliche Abwehrfunktion der Zitze und des Zitzenkanals möglichst wenig beeinträchtigt wird. Hier sind die Melkanlageneinstellung, die Gestaltung und somit Massagewirkung des Zitzengummis, der Melkbechersitz und die korrekte Durchführung aller Arbeitsroutinen von entscheidender Bedeutung. Ein wichtiger Aspekt für die Bewertung der Qualität des maschinellen Milchentzugs ist die Anwendung und (Weiter-)Entwicklung geeigneter Indikatoren (Haeussermann et al., 2013). Diese können grundsätzlich technischer oder physiologischer Natur sein. Vielfach angewandt werden Milchflusskurven, Vakuumverläufe im Melkbecher (Haeussermann & Hartung,

2010), die visuelle, palpatorische und zum Teil auch messtechnische Beurteilung der Zitzenkondition (Haeussermann et al., 2011) und die Erfassung von Milchhaltsstoffen (Brandt et al., 2010, Melfsen, 2012). Methoden für die Durchführung von standardisierten Messungen an der Zitze selbst weisen demgegenüber noch ein deutliches Forschungs- und Entwicklungspotential auf. Während technische Aspekte wichtige Hinweise zur Bewertung und Optimierung der Melkanlage und der Melkanlagenkomponenten liefern, dienen tierbezogene Kriterien insbesondere der Interpretation, inwieweit Veränderungen überhaupt mit einer positiven Auswirkung auf das Tier einhergehen. Auch bezüglich dieser Verknüpfung gibt es durchaus noch ein erhebliches Forschungs- und Entwicklungspotential.

### **Arbeitsroutinen und Automatisierung in Melkständen**

Ob, in welcher Form, Dauer und Reihenfolge die verschiedenen Arbeitsvorgänge durchgeführt werden sollen, ist eine Frage, die immer wieder mit neuen Facetten gestellt wird. Zu den vor- und nachbereitenden Arbeitsroutinen am Tier zählen das Vormelken, inklusive der Überprüfung des Vorgemelks in einem geeigneten Vormelkbecher, die Euterreinigung, die Stimulation, das Ansetzen und korrekte Ausrichten des Melkzeuges, das Nachmelken, die Abnahme des Melkzeuges und Kontrolle des Euters, sowie die Zitzendesinfektion. Die Stimulation erfolgt durch taktile Reize an der Zitze (mind. 15 s; Kaskous & Bruckmaier, 2011) und eine nachfolgende Wartezeit, die nötig ist, damit das Hormon Oxytocin von der Hypophyse über den Blutkreislauf ans Euter gelangen kann, dort die Myoepithelzellen zur Kontraktion anregt und somit die Milchejektion auslöst. Taktile Reiz und Wartezeit können manuell oder automatisiert durchgeführt werden. Bei Tieren, die unter Stress stehen, reicht ein zu kurzer taktile Reiz häufig nicht für eine vollständige Milchejektion aus. Die Dauer der erforderlichen Stimulations- und Wartezeit vor Melkbeginn ist tierindividuell verschieden und beträgt abhängig vom Euterfüllgrad 20-90 s (Weiss & Bruckmaier, 2005), wobei 2 min nicht überschritten werden sollten. Bei automatisierten Verfahren wird die Wartezeit zeit- oder milchflussgesteuert begrenzt. Wichtig ist, dass der Zitzengummi in der Stimulationsphase nicht oder nur kurzzeitig öffnet und dass der Melkbecher nicht an die Zitzenbasis klettert, weil dies - ebenso wie die fehlende Stimulation - zu einer frühzeitige Verengung der Euter-Zitzen-Passage und somit insgesamt zu einem geringeren Milchfluss, einer erhöhten Melkdauer und Belastung des Zitzengewebes und einem schlechteren Ausmelkgrad führt. Melkstandformen, bei denen eine Wartezeit von der Vorbereitung der Zitze bis zum Ansetzen des Melkzeuges nur ungünstig in den Arbeitsablauf integriert werden kann, sollten auf jeden Fall mit einer maschinellen Stimulationstechnik ausgestattet sein.

Dazu zählen z.B. Autotandem-Melkstände, Karusselle und Melkstände mit Wechselmelkzeugen (Swing-Over).

Neben der Vorstimulation nimmt auch die korrekte Ausrichtung des Melkzeuges Einfluss auf den Milchfluss, die Melkdauer, die Belastung des Zitzengewebes und den Ausmelkgrad (Barth, 2004). Grundsätzlich gilt, dass die vom Melkzeug auf das Euter wirkenden Vertikalkräfte gleichmäßig auf alle vier Zitzen verteilt sein sollten; bei gleichzeitiger Minimierung der Dreh- und Hebelkräfte (DLG, 2004). Je nach Euterform wird der lange Milchschauch mit Hilfe eines Servicearms entweder etwas angehoben, parallel oder mit leichtem Gefälle so ausgerichtet, dass das Sammelstück parallel zum Euterboden verläuft und das Melkzeug nicht verdreht ist. Die Nutzung eines Servicearmes, mit dem sowohl Vertikalkräfte gleichmäßig verteilt, als auch Dreh- und Hebelkräfte vermieden werden können, ist aufgrund baulicher Gegebenheiten nahezu auf Melkstände mit Tandem- und Fischgrätenaufstellung begrenzt. Nicht oder nur bedingt geeignet sind diesbezüglich steile Fischgräte, Melkstände mit Parallelaufstellung der Tiere (Side-by-Side) und/oder Wechselmelkzeugen sowie Außenmelkerkarusselle.

Das Prinzip des maschinellen Milchentzugs, basierend auf der Kombination aus Unterdruck und Zitzenmassage, bedingt grundsätzlich, dass es, in der Regel gegen Ende des Melkverlaufs, zu einem Verschluss der Euter-Zitzen-Passage und somit zum Versiegen des Milchflusses kommt. Dieser Verschluss ist mechanisch-morphologisch bedingt; der Zeitpunkt zu dem er auftritt, lässt sich dennoch durch den Melkablauf, die korrekte Durchführung der vorbereitenden Arbeitsroutinen, Design und Einstellung der Melkanlage beeinflussen. Unterstützt werden kann der Ausmelkgrad auch durch die Veränderungen der Vakuumbreite und/oder Pulsatoreinstellung während des Melkvorgangs (Ordolff, 2001). Die Gewinnung des sogenannten Nachmelks, also der Milch, die sich nach dem Verschluss der Euter-Zitzen-Passage noch lose in der größeren Milchgängen und der Euterzisterne befindet, kann automatisiert, manuell oder durch Handmelken ausgeführt werden. Bei ersteren wird das Melkzeug vor der Abnahme von Hand oder automatisiert vorwärts-abwärts gedrückt und so ein erneutes Öffnen der Euter-Zitzen-Passage und nahezu vollständiges Ausmelken ermöglicht. Der automatisierte Beginn des Nachmelkens ist an den geringer werdenden Milchfluss gekoppelt (800-1000 ml/min). Neben der Gewinnung des Nachmelks verkürzt sich somit auch die Blindmelkdauer der Viertel, bei denen der Milchfluss bei Erreichen des Grenzwertes bereits versiegt ist. Die Auswirkung eines stetigen Unterlassens des Nachmelkens wurde bereits in Leipzig in umfangreichen Versuchsreihen ermittelt. Euterviertel, die nicht nachgemolken wurden, wiesen bei erstlaktierenden Kühen eine um gut 6 % verringerte Milchleistung auf, in den

nachfolgenden Laktationen stieg der Milchverlust der nicht nachgemolkenen Euterviertel auf 9 %, 13 % und 17 % (2.-4. Laktation) an (Ebendorff et al., 1986). Bei dreimal täglichem Melken fiel der Milchertragsverlust deutlich geringer aus; da die im Euter verbleibende Nachgemelksmenge je Melkvorgang jedoch mit der des zweimal täglichen Melkens vergleichbar ist, sind hier vor allem die Effekte auf die Eutergesundheit ein entscheidendes Argument für das Nachmelken (Ebendorff, 1992). Kühe, die nicht nachgemolken werden, haben grundsätzlich eine verringerte Persistenz und ein höheres Risiko für Eutererkrankungen. Das anfangs befürchtete und auch heute gelegentlich noch unterstellte „Gewöhnen“ der Tiere an das Nachmelken oder ein durch das Nachmelken bedingtes bewusstes Zurückhalten eines Teils der Milch findet nicht statt (Wilson & Cannon, 1934). Die Anbringung einer Nachmelkautomatik ist baulich bedingt auf Melkstände mit Tandem- und Fischgrätenaufstellung begrenzt.

Im Gegensatz zur Nachmelkautomatik ist die automatische Abnahme bei Unterschreiten eines voreingestellten Grenzwertes für den Milchfluss (200-400 ml/min) mittlerweile Standard in modernen Melkanlagen. Durch die zeitgenaue Abnahme des Melkzeuges wird ein Blindmelken am Ende des Melkvorgangs vermieden bzw. verkürzt. Dies ist wichtig, da sich Melken ohne Milchfluss besonders zitzenschädigend auswirkt. Anzeichen für übermäßiges Blindmelken der Zitzen sind z.B. charakteristisch blau gefärbte Zitzen mit mangelnder Durchblutung, Schwellungen an der Zitzenbasis oder auch ausgeprägte Hyperkeratosen an der Zitzenspitze (Haeussermann et al., 2009a,b). Da die Milchflusskurven einzelner Kühe einen sehr unterschiedlichen Verlauf aufweisen und zum Beispiel von der Milchleistung, dem Laktationsstadium und dem Melkverlauf beeinflusst werden, kann der passenden Schwellenwert für die Abnahme der Melkzeuge hersteller- oder betriebsindividuell verschieden sein. Die milchflussunabhängige Abnahme des Melkzeuges nach einer bestimmten Zeitdauer, also z.B. nach 7 Minuten, führt jedoch ziemlich sicher dazu, dass die Tiere entweder nicht optimal ausgemolken oder zu lange (blind-)gemolken werden und somit negative Folgen auf die Milchleistung und die Eutergesundheit zu erwarten sind.

Die Desinfektion der Zitze nach dem Melken kann manuell oder automatisiert, durch Dippen oder Sprühen erfolgen. Die Zitzendesinfektion verhindert eine Infektion durch kontagiöse Erreger, die während des Melkvorgangs auf die Zitze übertragen wurden. Dies ist wichtig, da der Zitzenkanal nach dem Melken nur unzureichend verschlossen ist und eine Erregerübertragung beim Melkvorgang nicht auszuschließen ist. Durch einen ausreichenden Pflegemittelanteil findet gleichzeitig eine Glättung der Zitzenhaut statt, wodurch das Anheften von pathogenen Erregern zusätzlich erschwert wird. Die

manuelle Durchführung hat den Vorteil, dass die Zitze in der Regel korrekt mit Desinfektions- und Pflegemittel benetzt wird. Automatisierte Verfahren gibt es separat, in Form eines Sprühpilzes oder Sprüharms, oder integriert in das Melkzeug. Bei sehr modernen Melkkarussellen wird die korrekte automatisierte Benetzung der Zitze mit Hilfe von „Time-of-Flight“-Kameras unterstützt. Bei den integrierten Dippverfahren im Melkzeug, also dem Sprühen eines Dippmittels kurz vor oder bei der Abnahme des Melkzeuges, ist grundsätzlich die Gefahr der Kontamination der Milch zu beachten, sofern eine spezielle Ausführung dies nicht nachweisbar verhindert.

### **Ausstattung und Einstellung der Melkanlage**

Die Gestaltung der Melkanlage sollte einen zügigen Milchfluss ermöglichen und gleichzeitig die Zitzen schonend und vollständig ausmelken. Einflussfaktoren von Seiten der Melkanlage sind die Strömungsbedingungen, die Vakuumbreite und Einstellung des Pulsators und das Zitzengummidesign. Bei guten Strömungsbedingungen kann sowohl Milch als auch Luft zügig in Richtung Milchabscheider bewegt werden. Die Vakuumbreite an der Zitze wird weniger stark von der Höhe des aktuellen Milchflusses beeinflusst, wodurch das Betriebsvakuum insgesamt niedriger eingestellt werden kann. Dadurch sinkt die Gefahr der Zitzenschädigung in Phasen mit nur geringem Milchfluss. Bei der Auswahl des Zitzengummis kann zudem der Fokus vermehrt auf zitzenschonendes Melken und hohen Ausmelkgrad gelegt werden, wenn die Strömungsbedingungen ein wie gewünscht konstantes Vakuum erwarten lassen. Ungünstige Strömungsbedingungen entstehen zum Beispiel durch zu geringe Durchmesser der Milchschräume und Melkleitung, ungünstige gestaltete Sammelstücke, Verengungen und Leitungsanstiege. Ursachen können, neben einer ungünstigen Schlauchführung, Milchindikatoren oder Milchmengenmessgeräte sein, insbesondere aber auch nach oben verlegte Melkleitungen. Letztere üben durch den, in der Regel um mehr als 1 m nach oben geführten Milchtransport einen sehr ungünstigen Einfluss auf die Vakuumbreite an der Zitze aus, da das Vakuum dann bei hohen Milchflüssen zu niedrig und bei niedrigen Milchflüssen zu hoch ist. Durch ein niedriges Vakuum in der Entlastungsphase – gepaart mit einem hohen Vakuum in der Saugphase – wird die erforderliche aktive Massage der Zitze hier nur unzureichend durchgeführt. Zitzen, die während des Melkvorgangs nur unzureichend massiert werden, sind nach dem Melken schlecht durchblutet und ödematös, weisen aber nur wenig Hyperkeratosen auf, weil der aktive Druck für die Massage niedrig ausfällt (Haeussermann et al., 2009a). Die Infektionsanfälligkeit ist dann trotz der guten Hyperkeratosenbefunde erhöht, da sich während des Melkens Lymphflüssigkeit im Gewebe der Zitzenkuppe ansammelt und der Verschluss des Strichkanals

nach dem Melkvorgang zusätzlich verschlechtert wird. Melkanlagen mit ungünstigen Strömungsbedingungen bedingen zudem, dass bei der Zitzengummivahl die Melkzeughaftung im Vordergrund stehen muss und somit zitzenschonendes Melken und ein hoher Ausmelkgrad weniger Beachtung finden können.

Die Vakuumbreite an der Zitze nimmt Einfluss auf die Melkgeschwindigkeit, die Haftung des Melkzeugs und die Zitzenbeschaffenheit. Erfahrungswerte zeigen, dass ein mittleres Vakuum an der Zitzenspitze im Bereich von 32-42 kPa während des Spitzenmilchflusses sicherstellt, dass die meisten Kühe schnell, schonend und vollständig gemolken werden (DIN ISO 5707:2007). Diese sehr weit gefasste Vorgabe setzt jedoch voraus, dass Pulsatoreinstellung und Zitzengummidesign mit der Vakuumbreite abgestimmt sind. Bezüglich der Pulsatoreinstellung haben sich Phasenverhältnisse von 60:40 bis 65:35 mit Taktzahlen um die 60 Zyklen pro Minute bewährt. Im Rahmen des milchflussgesteuerten Melkens sind, zeitlich begrenzt, im Melkverlauf auch höhere Saugphasenanteile von 70-75 % denkbar (Ordolff, 2001). Wird der Saugphasenanteil allerdings während des kompletten Melkvorgangs auf Werte über 65 % eingestellt, ist mit negativen Folgen für die Eutergesundheit zu rechnen (Mahle et al., 1982).

Zitzengummis unterscheiden sich vor allem im Material und Design. Materialart, Wandstärke, Elastizität, Vorspannung, Schaftform und Durchmesser wirken sich auf die Zitzengummibewegung und Interaktion mit der Zitze aus. Die Art und Effektivität der Massage hängt zudem vom Zusammenspiel des Zitzengummis mit den Melkanlageneinstellungen ab. So wird ein unflexibel gestalteter oder eingespannter Zitzengummi bei niedrigem Vakuum eher zu wenig Massagedruck auf die Zitzenkuppe ausüben, wohingegen ein weich und elastischer Zitzengummi bei hohem Vakuum zu punktuellen sehr hohen Drücken und Quetschungen führen kann. Zitzengummis mit Schwerpunkt „Ausmelkgrad“ halten durch ihr Design einen möglichst konstanten, gleichförmigen „rund-um“-Kontakt zur Zitze, wobei die Zitzenbasis möglichst frei bleibt. Diese Zitzengummis sind durch einen engen, zylinderförmigen Schaft und eine gute Flexibilität und Elastizität des Kopfes und der Lippen gekennzeichnet. Zitzengummis mit Schwerpunkt „Melkzeughaftung“ sind durch weite und/oder stark konische verlaufende Schäfte und einen eher unflexiblen Zitzengummikopf mit großem Volumen und harten, unflexiblen Lippen gekennzeichnet. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es diverse Gestaltungsvarianten. Grundsätzlich gilt, dass ein Zitzengummi zur Melkanlage, zu den Tieren (Zitzenmorphologie) und zu den Vorstellungen des Betriebsleiters passen muss. Insbesondere die Zitzenmorphologie (Länge, Durchmesser, Zitzenbasis) ist bei der Auswahl des richtigen Zitzengummis zu

beachten (Haeussermann et al., 2013). Mehrebenenitzengummis, mit drei- oder viereckiger Schaftform, sind grundsätzlich keine neue Entwicklung. Entscheidend ist auch hier die Flexibilität der Wände und Rundung der Ecken.

Melkzeuge mit hohem Gewicht werden heute nicht mehr empfohlen. Durch das höhere Gewicht kann bei Melkanlagen mit ungünstigen Strömungsbedingungen der Ausmelkgrad erhöht werden. Nachteile des höheren Melkzeuggewichts sind zum einen ergonomischer Natur, zum anderen erfordern Melkzeuge mit hohem Gewicht ein höheres Haftvakuum, was sich dann wiederum negativ auf die erforderliche Vakuumhöhe, die Gestaltungsmöglichkeiten des Zitzengummis und den Ausmelkgrad auswirkt. Bei modern gestalteten Melkanlagen mit tief verlegter Melkleitung und guten Strömungsbedingungen wird ein hohes Melkzeuggewicht daher eher als kontraproduktiv angesehen.

### **Fazit**

Ein tiergerechter, maschineller Milchentzug ist gekennzeichnet durch wenig Stress für die Tiere, zügiges Ausmelken mit einem guten Ausmelkgrad, eine gute Zitzenbeschaffenheit und geringe Infektionsraten. Entscheidende Kriterien sind:

- die korrekte Durchführung der vor- und nachbereitenden Arbeitsroutinen, unterstützt durch zuverlässig arbeitende Sensorik und Automation;
- gute Strömungsbedingungen in der Melkanlage und somit
- optimale Auswahlmöglichkeiten bezüglich eines zitzenschonenden, zur Zitzenmorphologie passenden Zitzengummis;
- Abstimmung der Vakuumhöhe und Pulsatoreinstellung der Melkanlage mit dem Zitzengummidesign;
- Auswahl des Melkstandtyps nach tierbezogenen Kriterien und nach dessen Auswirkungen auf die Qualität des Melkvorgangs.

Technik- und tierbezogene Kriterien für die Bewertung des Melkvorgangs und zur Optimierung der Melkanlageneinstellung sind vorhanden bzw. werden derzeit erforscht. Eine Aufgabe zukünftiger Forschung und Entwicklung muss es sein, die Interpretation der gewonnenen Daten zu verbessern, um daraus langfristig aussagekräftigere Handlungsanweisungen ableiten zu können.

### **Literatur**

- Barth (2004): Anforderungen an das Melken. In: Melktechnik und Melkverfahren II. RKL-Schrift 4.2.1.1, S. 629-638.
- Brandt, M., A. Haeussermann, E. Hartung (2010): Technical solutions for analysis of milk constituents and abnormal milk. *J. Dairy Sci.* 93, p. 427-436.
- Brandt, M. (2012): Evaluation of presently used sensor systems for mastitis detection in automatic milking farms in Schleswig-Holstein. Dissertation, Inst. f. Landw. Verfahrenstechnik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.



- DIN ISO 5707:2010-4. Melkanlagen – Konstruktion und Leistung. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, Berlin (ISO 5707:2007).
- DLG (2004): DLG-Bewertungsmaßstab. In: DLG-Prüfbericht 5352F, S. 3.
- Ebendorff, W. (1992): Untersuchungen zum Einfluss des maschinellen Nachmelkens auf die Milchleistung der Kühe bei zwei- und dreimal täglichem Melken unter Anwendung der Halbeutermethode. Arch. Tierz., Dummerstorf 35, S. 223-230.
- Ebendorff, W., K. Kram, K. Hartmann (1986): Untersuchungen zum Einfluss eines ständigen Unterlassens des Nachmelkens auf die Milchleistung und Eutergesundheit von Kühen (Langzeitversuch über 4 Laktationen). 2. Mitt.: Ergebnisse bis zur 4. Laktation. Arch. Tierz., Berlin 29, S. 117-133.
- Häußermann, A., H.-J. Rudovsky, G. Schläiß; S. Pache, E. Hartung (2013) Bewertung der Zitzengummiwirkung im Halbeuterversuch. Tagungsband der 14. Jahrestagung der Wissenschaftlichen Gesellschaft der Milcherzeugerberater (WGM) e.V., 17.-19. September 2013, Kiel, S. 8-11.
- Haeussermann A., H.-J. Rudovsky, G. Schläiß (2011): Auswirkung dreieckiger Zitzengummis auf Milchabgabe und Zitzenkondition. ART-Schriftenreihe 15, Forschungsanstalt ART, Tänikon, Schweiz, S. 33-40.
- Haeussermann, A., E. Hartung (2010): A field study on teat-end vacuum in different milking systems and its effect on teat condition. Proc. of the First North American Conference on Precision Dairy Management, Toronto, Canada, Progressive Dairy Operators, University of Guelph, p. 226-227.
- Haeussermann, A., A. Melfsen, H. Toensfeldt, M. Brandt, E. Hartung (2009a): Einflüsse der Melktechnik und der Zitzenmorphologie auf die Bildung von Hyperkeratosen an der Zitzenspitze. 9. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, KTBL, Darmstadt, S. 59-64.
- Haeussermann, A., A. Melfsen, H. Toensfeldt, M. Brandt, E. Hartung (2009b): Influence of Milking Technology on the Frequency and Severity of Hyperkeratoses at the Teat End. Proc. XIV ISAH Congress, Vechta, p. 123-126.
- Kaskous, S., R. M. Bruckmaier (2011): Best combination of pre-stimulation and latency period duration before cluster attachment for efficient oxytocin release and milk ejection in cows with low to high udder-filling levels. Journal of Dairy Research, 78, p. 97-104.
- LKV (2014): Entwicklung der Milchleistungsprüfung im Prüfjahr 2014. In: Rind im Bild 4/2014, S. 14-15.
- LKV (2010): Leistungsdaten der Betriebe in Beziehung zur Form des Melkstandes. Rind im Bild 2/2010, S. 15.
- Mahle, D.E., D.M. Galton, R.W. Atkinson (1982): Effects of vacuum and pulsation ratio on udder health. J. Dairy Sci. 65, p. 1252-1257,
- Melfsen, A. (2012): On-farm milk composition analysis with near-infrared spectroscopy. Dissertation, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Ordolff, D. (2001): Introduction of electronics into milking technology. Computers and Electronics in Agriculture 20, p. 125-149
- Statistisches Bundesamt (2014), Fachserie 3, Reihe 4.1, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Viehbestand, Vorbericht, November 2014
- Weiss D. and R. M. Bruckmaier (2005): Optimization of Individual Prestimulation in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 88, p.137-147

Wilson, J.L. and C.Y. Cannon (1934): The value of hand stripping after machine milking. J. Dairy Sci. 17, S. 331-338.

## **Pangasius und Co – Qualität und Probleme neuer Fischarten auf dem deutschen Markt**

Horst Karl

Max Rubner-Institut, Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch,  
Palmaille 9, 22767 Hamburg, e-mail: Horst.Karl@mri.bund.de

In den letzten Jahren hat sich im deutschen Fischkonsum ein großer Wandel vollzogen. Das Angebot an traditionell vom Verbraucher geschätzten Fischarten, wie Kabeljau, Rotbarsch und Seelachs, wurde durch zahlreiche neue Arten aus dem Mittelmeerraum, aus Afrika und verschiedenen asiatischen Ländern ergänzt. Doraden und Wolfsbarsch vom Mittelmeer, Victoriasee-Barsch aus Afrika oder Pangasius aus der Aquakultur in Vietnam gehören heute zum festen Bestandteil des Fischhandels. In den Restaurants findet man zunehmend auch tropische Fischarten wie Red Snapper oder Zackenbarsch auf den Speisekarten. Der Verbraucher hat diese Fischarten während seines Urlaubs an der Mittelmeerküste oder auf Fernreisen schätzen gelernt und möchte diese Urlaubserinnerung auch zu Hause nicht missen. Der Handel kommt diesem Trend nach, und die Liste der von den Großhändlern angebotenen Fischarten steigt ständig. Moderne Transportmittel ermöglichen eine rasche Lieferung aus fast allen Ländern der Welt. Mittelmeerfische werden als frischer Ganzfisch in Eis per LKW aus Griechenland, der Türkei, Italien oder Frankreich auf den Großmärkten angeliefert. Andere exotische Fische aus Afrika oder anderen Teilen der Erde werden als Filet oder ganzer Fisch fangfrisch mit Eis gekühlt in Styroporkästen verpackt per Flugzeug meist via Frankfurt eingeflogen. Pangasius- oder Tilapiafilets aus Asien erreichen uns als Tiefkühlware in Schiffscontainern.

### **Steigende Vielfalt führt zu Wissenslücken**

Im Gegensatz zu den traditionell gehandelten Fischarten wie Seelachs oder Hering liegen häufig keine oder nur sehr wenige Daten zur Zusammensetzung und den Nährwert bestimmenden Bestandteilen vor, wie z.B. dem Anteil an den ernährungsphysiologisch wichtigen langkettigen und hoch ungesättigten n-3 Fettsäuren. Auch Fragen zur sensorischen Qualität und zur Lagerfähigkeit als Tiefkühlware können nicht beantwortet werden.

Die richtige Artenbezeichnung in der Deklaration der Ware ist häufig nicht überprüfbar, da entsprechende Referenzdaten fehlen. Daher sind der Importeur,

der Zoll und die Lebensmittelüberwachungsämter auf zuverlässige Angaben aus den Lieferpapieren angewiesen. Um Klarheit bei der Deklaration besonders bei Filetware zu erreichen und den Verbraucher vor Täuschung zu schützen, verwendet man zur Bestimmung der Fischart DNA- oder Protein-Analysemethoden. Doch auch hier gibt es vielfach erhebliche Informationsdefizite.

Um die Datenbasis in diesem Bereich zu verbessern, werden am Standort Hamburg des Instituts für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch des Max Rubner-Instituts (MRI) fortlaufend sowohl tiefgefrorene als auch frische „neue Fischarten“ untersucht. Einige Ergebnisse der Untersuchungen werden im Folgenden beispielhaft dargestellt.

### **Möglichkeiten der Artenidentifizierung**

In der Vergangenheit wurden von der Lebensmittelüberwachung mehrfach Betrugsfälle aufgedeckt, bei denen preiswertes Pangasiusfilets anstelle der deklarierten Seezunge, Rotzunge oder anderer Fischarten verkauft worden waren. Aber auch andere Fischarten werden falsch deklariert. Die Gründe hierfür sind vielfältig.

Zur Bestimmung der verwendeten Fischart in Fischerzeugnissen wurden am Institut Protein-Elektrophoreseverfahren als Schnellmethode und verschiedene DNA-Analysemethoden entwickelt. Das Elektrophoreseverfahren (Isoelektrische Fokussierung, IEF) ergab Eiweißmuster, mit denen sich z.B. Pazifische Kliesche (*Limanda aspera*) eindeutig von anderen Plattfischen unterscheiden ließ. Eine Untersuchung an Marktproben zeigte, dass von 77 Proben 17% falsch deklariert waren (Rehbein and Oliveira, 2012).

### **Pangasius**

In den letzten Jahren hat sich mit dem Pangasius eine neue Fischart aus der Aquakultur sehr erfolgreich auf dem deutschen Markt positioniert. Angeboten wird fast ausschließlich aufgetaute oder gefrostete Filetware, die eine hohe Verbraucherakzeptanz besitzt.

Pangasius oder Schlankwels wird in Vietnam seit mehr als 15 Jahren hauptsächlich im Mekong-Delta gezüchtet. Der Fisch wird in über 65 Länder exportiert. Gezüchtet werden hauptsächlich zwei Arten, *Pangasius bocourti* und *Pangasius hypophthalmus*, wobei letzterer mit einem Anteil von ca. 95 % marktbestimmend ist. Beim Pangasius handelt es sich um eine schnell wachsende Spezies, die ihre Marktgröße von 1,5 – 2,0 kg in acht Monaten erreicht. Die Produktionsmenge steigt Jahr für Jahr und hat 2012 rund 1.200 000 t erreicht. Die Aufzucht erfolgt in vielen kleinen Farmen. Der angelieferte Fisch wird manuell in modernen, EU-zugelassenen Verarbeitungszentren zu enthäuteten IQF-Filets

(Individual Quick Frozen) verarbeitet. Der Marktanteil in Deutschland beträgt z. Zeit ca. 3,5 % (FIZ, 2014). Der Verbraucher kauft Pangasius gerne, weil er preiswert ist und nicht wie Fisch riecht und schmeckt.

Um eine Marktübersicht über die bei uns angebotenen Qualitäten zu erhalten, wurden in den letzten Jahren handelsübliche Tiefkühl-Filets verschiedener vietnamesischer Verarbeitungsbetrieben untersucht, die auf dem deutschen Markt angeboten werden (Karl et al., 2010). Darunter war auch eine Anlage, die Filets aus ökologisch aufgezogenen Pangasius herstellt und vertreibt.

Die Bestimmung der Grundzusammensetzung (Fett, Wasser, Rohprotein, Mineralstoffanteile) zeigte große Unterschiede zwischen den Filets, je nachdem, ob sie aus konventionell oder aus ökologisch gefarmten Fischen hergestellt wurden (Tab. 1).

**Tabelle 1: Zusammensetzung von Pangasiusfilets auf dem deutschen Markt (2007-2011)**

Aufzuchtform	Protein %	Wasser %	Fett %
Konventionell N = 82	11,1 – 18,9	78,7 – 87,6	1,9 – 3,2
Ökologisch N = 55	16,4 – 20,3	78,5 – 81,1	1,9 – 2,3

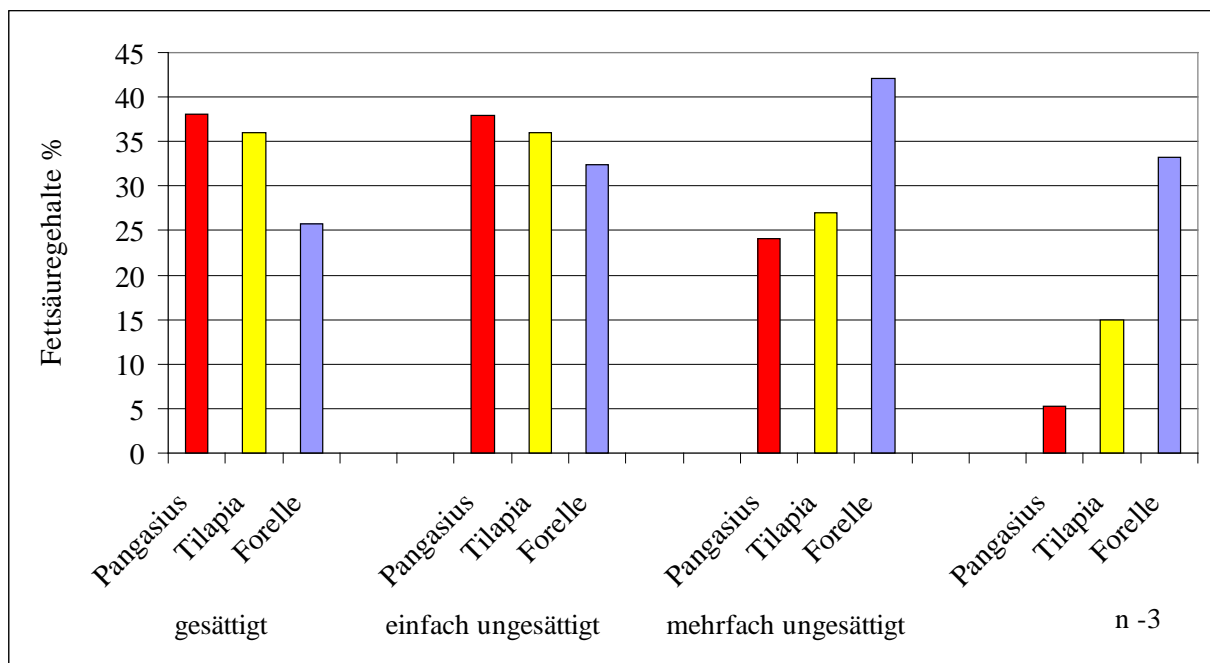
Die Rohproteingehalte der konventionellen Filets waren mit 11,1 – 18,9 % deutlich niedriger als die der ökologischen Ware mit 16,4 – 20,3 %. Umgekehrt waren die Wassergehalte der konventionellen Filets gegenüber der Ökoware erhöht. Die Fettgehalte waren dagegen vergleichbar und schwankten zwischen ca. 2 und 3 %. Unter der Annahme, dass die ökologisch erzeugten Filets weitgehend frei von Zusätzen auf dem Markt angeboten werden und die wirkliche Zusammensetzung von handgetrimmten Pangasiusfilets für den Export widerspiegeln, erscheint es wahrscheinlich, dass den konventionell produzierten Filets Wasser und wasserbindende Mittel häufig ohne entsprechende Kennzeichnung auf der Packung zugesetzt worden waren. Auch die höheren pH-Werte und das bessere Wasserbindevermögen sprechen für den Einsatz von wasserbindenden Mitteln. Zur Erhöhung der Wasserbindung bei der Produktion von Pangasiusfilets werden u.a. Polyphosphate eingesetzt. Hierdurch wird das Filet saftiger, der Verbraucher kauft aber auch mehr Wasser. Der Zusatz von Di- und Polyphosphaten ist in Deutschland bei tiefgefrorenen Fischfilets nach der VO (EG) 1333/2008 des europäischen Parlaments und des Rates über Lebensmittelzusatzstoffe bis zu einer Menge von 5g/kg (berechnet als P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) erlaubt, er muss allerdings deklariert sein. Bei mehreren konventionellen Proben konnte die

Anwendung von Poly- bzw. Diphosphaten nachgewiesen werden. Die Bio-Produkte enthielten keine Zusätze. Unsere Untersuchungsergebnisse haben dazu geführt, dass beim Import von Pangasius-Filets verstärkt auf die richtige Deklaration geachtet wird.

### Tilapia

Eine weitere Fischart, die zunehmend bei uns angeboten wird, ist Tilapia (*Oreochromis spp.*). Weltweit wurden 2012 ca. 3,2 Mio t Tilapia vor allem in Asien und Afrika gezüchtet (FAO, 2014). Inzwischen gibt es auch Produktionsanlagen in Amerika und Europa. Tilapien sind Allesfresser und ernähren sich bevorzugt von Phytoplankton. Die Aufzucht erfolgt meist in Teichen bei Wassertemperaturen von 30° C und höher. In Deutschland werden tiefgefrorene Filets unterschiedlicher Qualität angeboten. Die Angebotsformen reichen von einfachen TK-Filets über Loins (Rückenfiletstücke) bis zu Filets in Sashimiqualität. Ein umfassender Qualitätsvergleich von Handelsproben zeigte keine großen Unterschiede in der Zusammensetzung. Erhöhte Wassergehalte wurden nicht gefunden (Karl et al. 2014).

**Abbildung 1: Vergleich des Fettsäureprofils von Zuchtfischen**



Mit Fettgehalten von 2,7 % gehören Tilapien zu den fettärmeren Fischen. Da zur Aufzucht überwiegend pflanzliche Öle eingesetzt werden, enthalten Tilapien genauso wie Pangasius deutlich geringe Mengen an den ernährungsphysiologisch bedeutenden n-3 Fettsäuren EPA (Eicosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure) als das Fleisch der Regenbogenforelle (Abb. 1). Senso-

rish wurden die ökologisch erzeugten und die „Sashimi“-Filets am besten beurteilt.



Pangasius



Tilapia (Bild: FIZ)

### **Vorsicht beim Verzehr von wildlebenden tropischen Fischen**

Aufgrund der steigenden Nachfrage an Fischen, die der Verbraucher während seines Urlaubes in tropischen Gebieten kennengelernt hat, werden in den Restaurants und im Handel vermehrt Fische aus der Karibik, dem Pazifischen und Indischen Ozean angeboten. Snapper (*Lutjanus spp.*), Papageifische (versch. Arten), Zackenbarsche (Serranidae) u.a. Arten, die an Korallenriffen leben, können über die Nahrung bestimmte Algentoxine (z.B. Ciguatoxine) aufnehmen, die beim Verzehr der Fische zu schweren Vergiftungen führen können (Dickey and Plakas, 2010). Die Erkrankung wird als Ciguatera-Vergiftung bezeichnet und löst neurologische und den Magen-Darm-Trakt betreffende Symptome aus. Das Ciguatoxin wird von Dinoflagellaten der Species *Gambierdiscus* produziert, die auf der Oberfläche von Korallen leben. Pflanzenfressende Fische nehmen die Dinoflagellaten auf, über die Nahrungskette reichert es sich im Muskelfleisch von größeren Fischen an. Die Ciguatoxin-Vergiftung tritt hauptsächlich im südlichen und mittleren Pazifik und auf den Westindischen Inseln auf. Die Zahl der Erkrankungsfälle pro Jahr wird weltweit auf ca. 50 000 Personen geschätzt. 2012 gab es auch in Deutschland eine Ciguatera-Vergiftungswelle durch den Verzehr von Snapper Filets aus Indien (GIZ, 2013). Es gibt derzeit keine Routine- oder Schnellmethode zur Bestimmung. Die Analyse von Einzelproben kann das Risiko reduzieren, aber nicht verhindern. Ciguatera tritt immer nur zeitlich und lokal beschränkt auf. Wenn beim Fang genaue Kenntnisse der örtlichen Verhältnisse vorliegen, dann ist das Risiko bei eingeführten Fischen als gering zu bezeichnen. Wer sicher gehen will, sollte auf den Verzehr von Riffischen verzichten.

**Die verschiedenen Beispiele zeigen, wie wichtig es ist, mehr detaillierte Informationen über Fischarten zu sammeln, die in Deutschland bisher weitgehend unbekannt sind. Deshalb wird das Analysenspektrum bei neuen Fischen ständig erweitert.**

**Literatur:**

- Dickey, R.W.; Plakas, S.M. (2010). Ciguatera: A public health perspective. *Toxicon* 56, 123 – 136.
- FAO (2014).  
[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis\\_niloticus/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en)
- FIZ (2014). FIZ-Fischinformationszentrum e.V.  
[www.fischinfo.de/index.php/markt/datenfakten/4768-marktanteile-2](http://www.fischinfo.de/index.php/markt/datenfakten/4768-marktanteile-2)
- GIZ (2013). Giftinformationszentrum Nord: Ciguatera-Vergiftungsepidemie durch Red Snapper (2012-12-07) [www.giz-nord.de](http://www.giz-nord.de)
- Karl, H.; Lehmann, I.; Rehbein, H.; Schubring, R. (2010). Composition and quality attributes of conventionally and organically farmed *Pangasius* filets (*Pangasius hypophthalmus*) on the German market. *Int. J. Food Science & Technology* 45, 56-66.
- Karl, H.; Lehmann, I.; Manthey-Karl, M.; Meyer, C.; Ostermeyer, U. (2014). Comparison of nutritional value and microbiological status of new imported species on the German market. *Int. J. Food Science & Technology* 49, 2481-2490.
- Rehbein, H.; Oliveira, A.C.M. (2012). Alaskan flatfishes on the German market: Part I: Identification by DNA and protein analytical methods. *European Food Research Technology* 234, 245-251.



## **Die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* als Modell in der Ernährungswissenschaft**

Verena Groth, Frank Döring

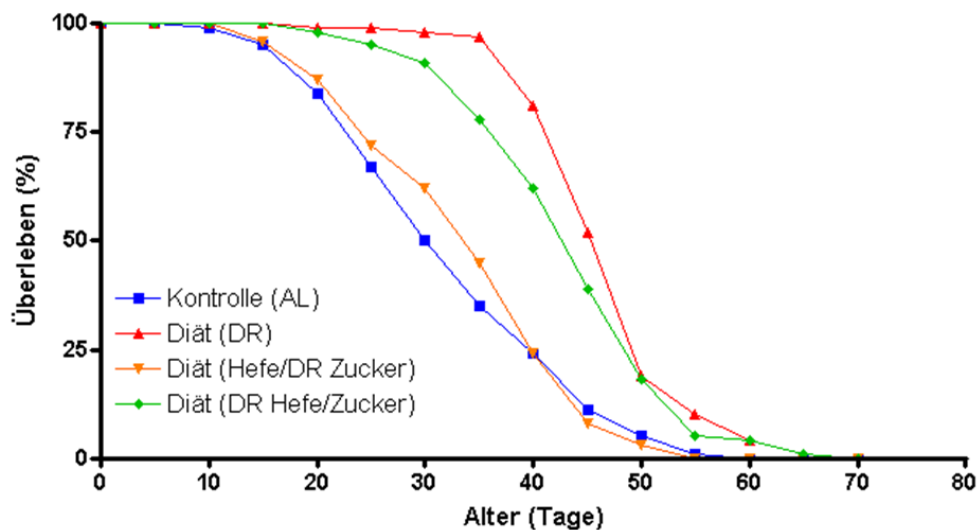
Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

### **Die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* als Modellorganismus**

Die schwarzbäuchige Taufliege *Drosophila melanogaster* wurde erstmals 1901 vom Zoologen und Genetiker William Castle als Versuchsorganismus verwendet. Seit dieser Zeit hat sich *Drosophila* als Modellorganismus fest etabliert und ist aus der modernen Wissenschaft und Forschung nicht mehr wegzudenken. Wesentliche Erkenntnisse zur Anordnung der Gene auf Chromosomen, zur mutagenen Wirkung von Röntgenstrahlen und zur Aufklärung der genetischen Steuerung der frühen Embryonalentwicklung wurden in *Drosophila* erzielt. Auch in der Ernährungswissenschaft hat sich die Fruchtfliege etabliert. Die einfache Haltung, leichte genetische Manipulierbarkeit, vielfältige methodische Ansätze und nicht zuletzt die Ähnlichkeit der Signalwege zum Menschen machen *Drosophila* zu einem idealen Modellorganismus.

### **Nahrungsrestriktion verlängert das Leben von *Drosophila***

Vor 80 Jahren wurde erstmals ein Zusammenhang zwischen einer reduzierten Nahrungsaufnahme und einer verlängerten Lebensspanne bei Ratten gezeigt (Weindruch, Walford et al. 1986); (Mair and Dillin 2008). Dieses Ergebnis konnte seither in einer Vielzahl unterschiedlicher Organismen, wie Hefen, Fadenwürmern oder *Drosophila*, bestätigt werden. Die nahezu universelle Verlängerung der Lebensdauer durch reduzierte Nährstoffaufnahme deutet auf die evolutionäre Konservierung der beteiligten Mechanismen von Fliegen bis zum Menschen hin.



**Abbildung: Die Lebensspanne von *Drosophila* verlängert sich bei reduzierter Nahrungsaufnahme** (Quelle: modifiziert nach Mair et al., 2005)

Bei Studien in *Drosophila* zeigte sich, dass nicht nur der Kaloriengehalt, sondern vielmehr die Zusammensetzung der Nahrung ausschlaggebend für die Regulation der Lebensspanne ist (Mair, Piper et al. 2005; Partridge, Piper et al. 2005). Fliegen mit reduzierter Nahrungsaufnahme (Diät, DR) zeigen eine deutliche Erhöhung der maximalen Lebenserwartung gegenüber der normal gefütterten Kontrollgruppe (Kontrolle, AL) (Abbildung). Zudem scheint bei ihnen der Alterungsprozess erst später einzusetzen. Des Weiteren konnten Mair et al. zeigen, dass hierbei insbesondere die Proteinmenge in der Nahrung ausschlaggebend zu sein scheint. So führte die Reduktion des Proteingehaltes (DR Hefe/Zucker normal) zu einem deutlich größeren Effekt, als die Reduktion der Kohlehydratmenge (Hefe normal/DR Zucker) (Abbildung).

### ***Drosophila* Mutanten helfen beim Verständnis von Diabetes**

Auf der Suche nach Mutanten, die eine Verlängerung der Lebensspanne aufweisen, identifizierte man eine Reihe von Genen, die im Insulin-Signalweg von *Drosophila* eine Rolle spielen (Clancy, Gems et al. 2001); (Barbieri, Bonafe et al. 2003). Schaltet man die Funktion von Insulin-produzierenden Zellen aus, verlängert sich die Lebensspanne der manipulierten Tiere deutlich (Broughton, Piper et al. 2005). Interessanterweise sind viele dieser Mutanten auch deutlich kleiner als wildtypische Fliegen. Wie groß ein Organismus maximal werden kann, wird durch die Gene festgelegt. Inwiefern dieses Potential jedoch ausgeschöpft wird, hängt von einer Reihe weiterer Faktoren ab. Einer davon ist das Insulin. Dieses Hormon wird nach dem Essen ausgeschüttet und ist maßgeblich an der Regulierung des Blutzuckerspiegels beteiligt. Außerdem reguliert die

Insulin-Signalkaskade während des Wachstums die Größe und Anzahl der Körperzellen. Das *Drosophila* Gen *steppke* scheint für diese Funktion des Insulin-Signalwegs essentiell zu sein (Fuss, Becker et al. 2006). Vergleicht man die Funktion und Position der einzelnen Komponenten im Insulin-Signalweg zwischen *Drosophila* und Säugern, erkennt man die starke Konservierung (Garofalo 2002). Somit können Erkenntnisse über den Insulin-Signalweg, die in *Drosophila* generiert wurden, helfen humane Erkrankungen, wie bspw. Diabetes mellitus, besser zu verstehen.

### **Die Rolle der Darm-Mikrobiota bei *Drosophila***

Als Mikrobiota bezeichnet man die Gesamtheit der Mikroorganismen, die den Darm von Tieren und auch Menschen besiedeln. Der Mikrobiota kommen verschiedene Funktionen zu: 1) Unterstützung der Verdauung von Nahrungskomponenten, 2) Entwicklung und Reifung des Immunsystems, 3) Abwehr von infektiösen Bakterien und anderen Pathogenen, 4) Beeinflussung der Partnerwahl. In den letzten Jahren hat sich *Drosophila* als nützliches Modell für die Untersuchung der Beziehung zwischen Wirt und Mikrobiota herausgestellt. Studien in *Drosophila* zeigten den nachhaltigen Einfluss der Ernährung auf die Menge und Zusammensetzung der Mikrobiota (Fink, Staubach et al. 2013). Und auch hier konnten Versuche die positive Wirkung einer gesunden Darm-Mikrobiota auf die Lebensspanne herausstellen (Erkosar and Leulier 2014).

### **Fazit**

Der natürliche Alterungsprozess führt zu einer erhöhten Anfälligkeit für ernährungsbedingte Erkrankungen, wie Diabetes oder kardiovaskuläre Erkrankungen. Das Verständnis der Mechanismen durch die unsere Ernährung den Metabolismus beeinflussen kann, ist von immens großer Bedeutung. Einen wichtigen Beitrag in der Ernährungsforschung leisten hierbei die Erkenntnisse, die in der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* erzielt wurden. Die einfache und kostengünstige Züchtbarkeit, der rasche Generationswechsel mit hoher Nachkommenzahl und vielfältige methodische Ansätze machen *Drosophila* zu einem idealen Modellorganismus. Durch die evolutionäre Konservierung vieler Gene, unter anderem solcher, die an Erkrankungen beim Menschen beteiligt sind, wird *Drosophila* in zunehmendem Maße zur Untersuchung dieser Krankheiten eingesetzt.

### **Literatur**

Barbieri, M., M. Bonafe, et al. (2003). "Insulin/IGF-I-signaling pathway: an evolutionarily conserved mechanism of longevity from yeast to humans." *Am J Physiol Endocrinol Metab* **285**(5): E1064-1071.

- Broughton, S. J., M. D. Piper, et al. (2005). "Longer lifespan, altered metabolism, and stress resistance in *Drosophila* from ablation of cells making insulin-like ligands." Proc Natl Acad Sci U S A **102**(8): 3105-3110.
- Clancy, D. J., D. Gems, et al. (2001). "Extension of life-span by loss of CHICO, a *Drosophila* insulin receptor substrate protein." Science **292**(5514): 104-106.
- Erkosar, B. and F. Leulier (2014). "Transient adult microbiota, gut homeostasis and longevity: Novel insights from the *Drosophila* model." FEBS Lett **588**(22): 4250-4257.
- Fink, C., F. Staubach, et al. (2013). "Noninvasive analysis of microbiome dynamics in the fruit fly *Drosophila melanogaster*." Appl Environ Microbiol **79**(22): 6984-6988.
- Fuss, B., T. Becker, et al. (2006). "The cytohesin Steppke is essential for insulin signalling in *Drosophila*." Nature **444**(7121): 945-948.
- Garofalo, R. S. (2002). "Genetic analysis of insulin signaling in *Drosophila*." Trends Endocrinol Metab **13**(4): 156-162.
- Mair, W. and A. Dillin (2008). "Aging and survival: the genetics of life span extension by dietary restriction." Annu Rev Biochem **77**: 727-754.
- Mair, W., M. D. Piper, et al. (2005). "Calories do not explain extension of life span by dietary restriction in *Drosophila*." PLoS Biol **3**(7): e223.
- Partridge, L., M. D. Piper, et al. (2005). "Dietary restriction in *Drosophila*." Mech Ageing Dev **126**(9): 938-950.
- Weindruch, R., R. L. Walford, et al. (1986). "The retardation of aging in mice by dietary restriction: longevity, cancer, immunity and lifetime energy intake." J Nutr **116**(4): 641-654.

## **Einfluss sekundärer Pflanzenstoffe auf die intestinale Barrierefunktion**

Stefanie Piegholdt, Gerald Rimbach

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde,  
Abteilung Lebensmittelwissenschaft

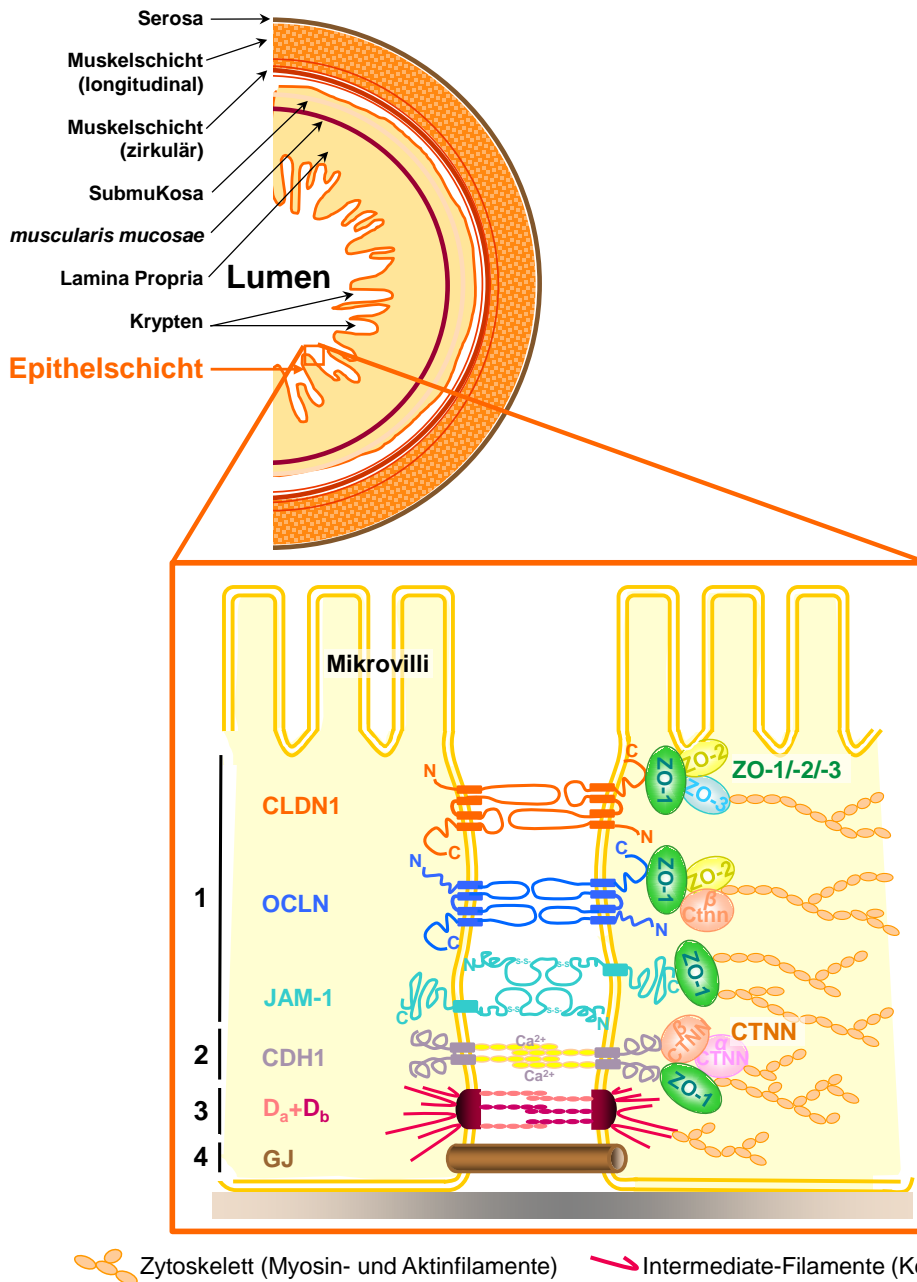
### **Funktionalität des Darms und Bedeutung der epithelialen Barriere**

Der Darm repräsentiert den distalen Teil des Verdauungstraktes und erfüllt zahlreiche wichtige Funktionen. Zum einen ist er der Ort der Digestion und verantwortlich für die Absorption von Wasser, Elektrolyten und Nährstoffen. Zum anderen erfüllt der Darm wichtige Abwehrfunktionen gegen unerwünschte Mikroorganismen und Proteine, die mittels des GALT (**gut-associated lymphoid tissue**; *aus dem Englischen*: Darmassoziiertes lymphatisches Gewebe resp. Immunsystem) antagonisiert werden.

Mit der täglichen Ernährung wird eine Vielzahl sekundärer Pflanzenstoffe aufgenommen, die mit dem Epithel des Darms in Kontakt treten und dieses in seiner Integrität und Funktion beeinflussen. Ebenso ist der Darm permanent einer Vielzahl exogener und endogener Stressfaktoren ausgesetzt, z.B. bakteriellen und viralen Toxinen, reaktiven Sauerstoff- und Stickoxidspezies und Xenobiotika, die das Darmepithel schädigen und die Funktionalität des Darmes beeinträchtigen können.

Die Enterozytenschicht des Darms stellt die erste Verteidigungslinie gegen diese Stressfaktoren dar, wobei ihre Durchlässigkeit durch unterschiedliche Strukturen wie den Tight- und Adherence-Junction-Proteinen zwischen benachbarten Zellen bestimmt wird (*Abbildung 1*, Seite 2). Dabei ist eine intensive Interaktion dieser Junction-Proteine untereinander im extrazellulären Raum als auch eine starke Bindung der Junction-Proteine zu den intrazellulär lokalisierten sogenannten „Brückenproteinen“ von entscheidender Bedeutung für die Integrität und Festigkeit der Darmbarriere.

Die mit der Nahrung aufgenommenen sekundären Pflanzenstoffe können möglicherweise in positiver Weise auf das Darmepithel einwirken und die Festigkeit der Darmbarriere verbessern. Die Fragestellung, ob bestimmte Vertreter dieser sekundären Nahrungsmittelinhaltsstoffe die Anzahl der Junction-Protein-Stränge oder die Stärke deren Wechselwirkung untereinander bzw. zu den Brückenproteinen beeinflusst, wurde in unserer Arbeitsgruppe adressiert und die zugrundeliegenden Signalwege aufgeklärt.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Darms (o.) und Ausschnitt aus dem Darmpithel (u.). Junction-Proteine interagieren untereinander und mit den Junction-Brückenproteinen und bilden so eine feste Darmbarriere aus.

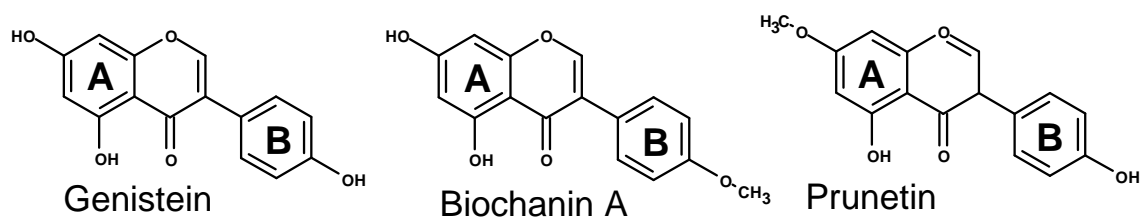
(Erstellt nach: Fujita 1952; Holmes et al. 1961; Ikenouchi et al. 2005; Furuse 2010; Bazzoni et al. 2000; Leung et al. 2002; Martin-Padura et al. 1998; Jesaitis et al. 1994)

## Hintergrund, Zielstellung und Methoden

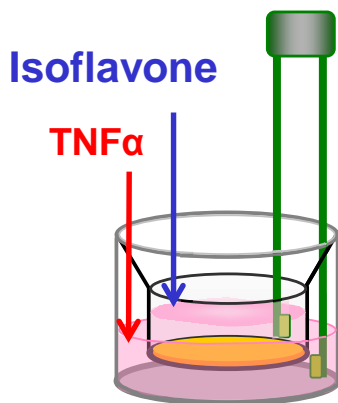
In vorangegangenen Studien wurde gezeigt, dass einige bioaktive Pflanzenstoffe aus den Gruppen der Polyphenole als auch der Curcuminoide die Barriere-dichte sowohl in *in-vitro*-Modellen als auch *in-vivo* positiv modulieren konnten. Zu diesen Substanzen zählen u.a. Genistein (Dunagan et al. 2012; Sheth et al. 2007; Rao et al. 2002), Kämpferol (Suzuki et al. 2010; Lee et al. 2010), Narin-genin (Azuma et al. 2013), Quercetin (Suzuki et al. 2009; Amasheh et al. 2008) und Curcumin (Nones et al. 2009; Sergent et al. 2010; Song et al. 2010; Song et al. 2010; Al-Sadi et al. 2007).

Unterschiede im Lifestyle und Ernährungsverhalten könnten einen möglichen Zusammenhang zwischen den bis zu 30-fach niedrigeren Inzidenzen an chroni-schen-entzündlichen Darmerkrankungen (*engl.*: **inflammatory bowel disease (IBD)**) in asiatischen Ländern vergleichend zu den Ländern mit westlich ge-prägtem Lebensstil (Europa/Nordamerika; Molodecky et al. 2012; Loftus 2005; Shivananda et al. 1996) mitbedingen. Besonders auffallend ist die bis zu 50-fach höhere Aufnahme an Isoflavonen (einer Untergruppe der Polyphenole) aus Isoflavon-reichen Nahrungsmitteln im asiatischen Raum (Wand und Murphy 1194; Messina et al. 2006) im Vergleich zu den Isoflavon-Aufnahmen durch eine westliche Ernährungsweise (Peeters et al. 2007).

Mittels transepithelialer elektrischer Widerstandsmessung (**TEER**) wurde der Einfluss ausgewählter Isoflavone (Genistein, Biochanin A und Prunetin; **Abbil-dung 2**) auf die Barriere-dichtigkeit in einem *in-vitro*-Modell (unter Verwen-dung der humanen Darmzelllinie CaCo-2) unter Ab- und Anwesenheit des pro-inflammatorischen Zytokins TNF $\alpha$  (=Tumor Nekrosis Faktor alpha) quantifi-ziert (**Abbildung 3**, Seite 4).



**Abbildung 2:** Chemische Strukturen der Isoflavone Genistein, Biochanin A und Prunetin. Während Genistein an den Ringen A und B nur durch Hydroxygruppen (-OH) substituiert ist, weisen Biochanin A und Prunetin am B- bzw. A-Ring jeweils eine Methoxygruppe (-O-CH<sub>3</sub>) auf.



**Abbildung 3:** Quantifizierung der Barriereichte in einem *in-vitro*-Modell. Dabei gilt: je höher der Widerstand des Darmzell-Monolayers gegenüber einem transepithelialen elektrischen Stromfluss (**TEER**), umso dichter ist die Barriere(-funktion) dieses Epithels.

**Modell:** CaCo-2 (human) Monolayer hier: **gelb** dargestellt

**Applikation:** Isoflavone von der repräsentativ ~luminalen Seite, proinflammatorisches Zytokin TNF $\alpha$  von der ~serosalen Seite des Zell-Monolayers.

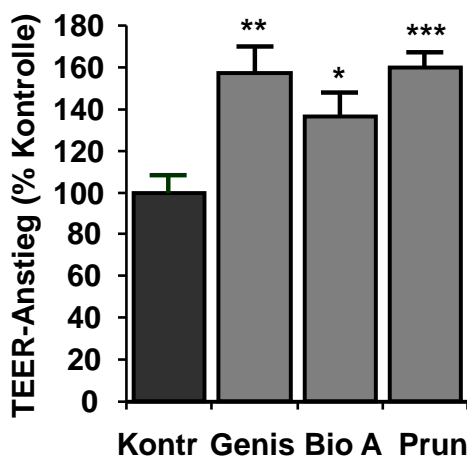
**Messung:** elektrischer Stromfluss, elektrodenbasiert (**grün**)

Darüber hinaus wurden im selben Zell-Modell molekularbiologische Untersuchungen zu den zugrunde liegenden Signaltransduktionswegen durchgeführt. Es sollte aufgeklärt werden, über welche Mechanismen Isoflavone die Barriere im Darm beeinflussen und möglicherweise die Integrität des Darmepithels verbessern können.

## Ergebnisse

Es konnte gezeigt werden, dass Isoflavone die Barriereichte *in-vitro* signifikant verbessern (**Abbildung 4**).

Dabei scheinen alle drei untersuchten Isoflavone (Genistein, Biochanin A und Prunetin) ähnlich potent in ihrer barrieresteigernden Wirkung zu sein.



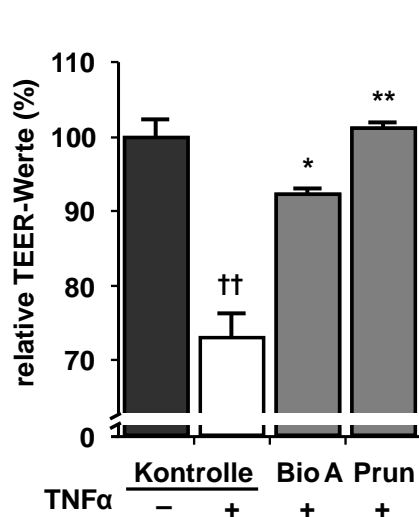
**Abbildung 4:** Relative Barriereichte im CaCo-2-Monolayer nach Applikation von Genistein, Biochanin A oder Prunetin (50 $\mu$ M) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Alle drei getesteten Isoflavone konnten die Barrierefunktion *in-vitro* signifikant verbessern, quantifiziert mittels transepithelialer elektrischer Widerstandsmessung (TEER).

Kontr: Kontrolle; Genis: Genistein; BioA: Biochanin A; Prun: Prunetin; \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$  (*t*-test)

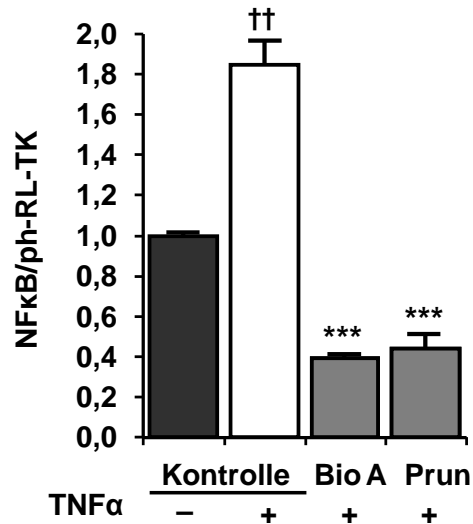
Darüber hinaus konnten die Isoflavone Biochanin A und Prunetin die durch das proinflammatorische Zytokin TNF $\alpha$  verursachte Schädigung der Barriereichte signifikant reduzieren (**Abbildung 5**, Seite 5). Dabei scheint die ef-



fektive Inhibierung der TNF $\alpha$ -abhängigen Aktivierung des proinflammatorischen Transkriptionsfaktors NF $\kappa$ B von besonderer Relevanz, was mittels Reportergenassay für beide Isoflavone gleichermaßen gezeigt werden konnte (*Abbildung 6*, Seite 5).



**Abbildung 5:** Schädigung der Barrierefunktion durch das Zytokin TNF $\alpha$  und Rescue durch Biochanin A und Prunetin. Quantifizierung mittels TEER-Messung.

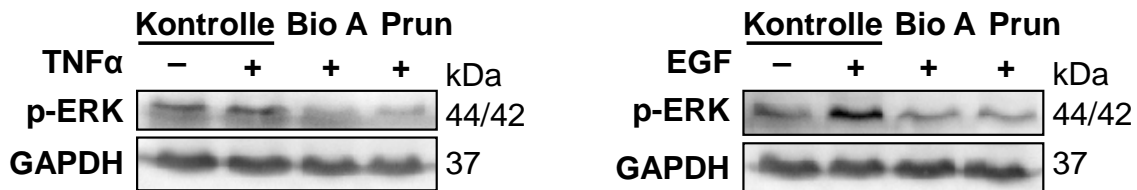


**Abbildung 6:** Aktivierung des proinflammatorischen Transkriptionsfaktors NF $\kappa$ B durch TNF $\alpha$  und Inhibierung der Aktivierung durch Biochanin A und Prunetin. Messung: Reporterassay.

\*p<0,05 \*\*p<0,01 gg. TNF $\alpha$ -behandelte Kontrolle; ††p<0,01 gg. unbehandelte Kontrolle

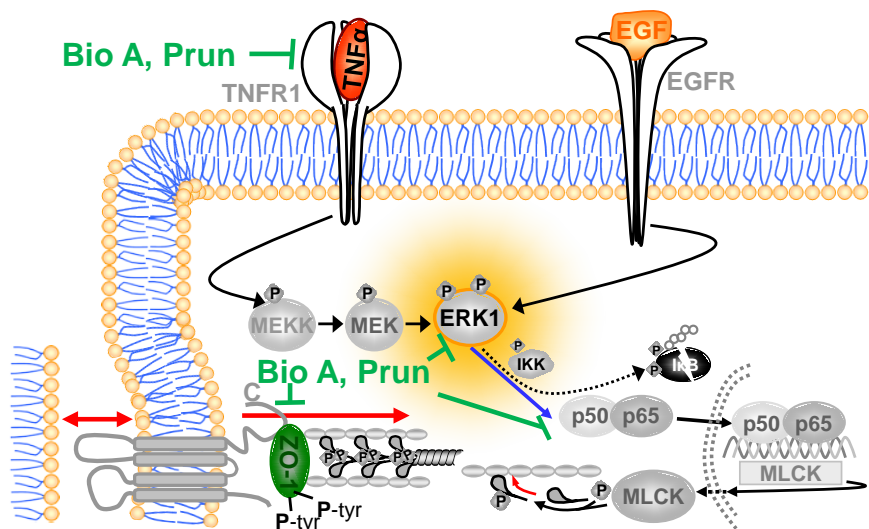
Die Quantifizierung der Expression ausgewählter Junction-Proteine (CLDN1, OCLN, ZO-1, CDH1, JAM-1 u.a.) zeigte, dass die Isoflavone nicht über eine Änderung der Junction-Protein-Expressionsmenge wirken, eine signaltransduktorische bzw. mechanistische Wirkungsweise ist wahrscheinlich.

TNF $\alpha$  und EGF (*engl.*: epidermal growth factor) können ERK (*engl.*: extracellularly regulated kinase) durch eine Phosphorylierungsreaktion aktivieren. Sowohl Biochanin A als auch Prunetin konnten unter Anwesenheit von TNF $\alpha$  oder von EGF die Phosphorylierung und somit Aktivierung von ERK deutlich vermindern (*Abbildung 7*).



**Abbildung 7:** Biochanin A und Prunetin hemmen die Aktivierung von ERK (*hier*: p-ERK = phosphoryliertes ERK) sowohl unter Anwesenheit von TNF $\alpha$  (*li.*) als auch EGF (*re.*). Methode: Western Blotting. Als Ladekontrolle diente GAPDH (Glycerinaldehyd-3-Phosphat-Dehydrogenase).

Die Einflussnahme der Isoflavone auf ERK, als postulierten zentralen Regulator der Barrierefunktion in intestinalen Zellen, scheint maßgeblich an der Manifestation der hier gezeigten positiven Effekte auf die Barriere­dich­ti­g­keit beteiligt zu sein. Von vermutlich ähnlicher Bedeutung für die Erhaltung der Barriere­in­te­grität ist die Biochanin A- und Prunetin-abhängige Reduktion der Phosphorylierung der Tyrosin-Reste am Brückenprotein ZO-1, was zu einer deutlich verbesserten Interaktion der Junction-Proteine beiträgt. Die identifizierten zellulären Wirkorte von Biochanin A und Prunetin mit Fokus auf die intestinale Barriere-Bildung ist noch einmal in **Abbildung 8** zusammengefasst.



**Abbildung 8:** Schematische Darstellung von potentiell an der Regulation der intestinalen Barriere­dich­ti­g­keit beteiligten Signalwege und jeweilige mögliche Orte der Einflussnahme durch die Isoflavone Biochanin A und Prunetin. —| Hemmung

EGFR: EGF-Rezeptor; ERK: extracellular regulated kinase; MLCK: Myosin-light-chain-kinase; p50/p65: NF $\kappa$ B-Heterodimer; P-tyr: Tyrosin-Phosphorylierung; TNFR1: TNF $\alpha$ -Rezeptor

## Zusammenfassung und Fazit

Biochanin A und Prunetin wurden als potente bioaktive Pflanzenstoffe zur Verbesserung der intestinalen Barrierefunktion *in-vitro* identifiziert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Isoflavon-abhängige Inhibition der ERK-Aktivierung und folgend die Inhibierung des proinflammatorischen NFκB-Signalweges und anschließender Prozesse für die barrieresteigernde Wirkung ursächlich ist. Gleichmaßen bedeutsam für die barrierefördernde Wirkung von Biochanin A und Prunetin ist eine Verbesserung der Wechselwirkung der Junction-Proteine mit deren Brückenproteinen durch Hemmung der Tyrosin-Phosphorylierung am Brückenprotein ZO-1. Ob diese Isoflavone auch *in-vivo* eine barrierefördernde Wirkung besitzen gilt es in weiterführenden Studien zu prüfen.

## Anmerkung

Originalliteratur der hier dargestellten Daten und Methoden:

Piegholdt, S; Pallauf, K; Esatbeyoglu, T; Speck, N; Reiss, K; Ruddigkeit, L; Stocker, A; Huebbe, P; Rimbach, G (2014): Biochanin A and prunetin improve epithelial barrier function in intestinal CaCo-2 cells via downregulation of ERK, NF-κB, and tyrosine phosphorylation. *Free Radical Biology & Medicine* 70:255-64

Piegholdt, Stefanie: The isoflavones biochanin A and prunetin are potent modulators of intestinal epithelial barrier function *via* distinct signal transduction pathways - Studies in cultured CaCo-2 cells. Hg. von: Der Andere Verlag, Uelvesbüll, 2014

## Referenzen

- Al-Sadi, RM; Ma, TY (2007): IL-1beta causes an increase in intestinal epithelial tight junction permeability. *J. Immunol.* 178 (7):4641–4649.
- Amasheh, M; Schlichter, S; Amasheh, S; Mankertz, J; Zeitz, M; Fromm, M; Schulzke, JD (2008): Quercetin enhances epithelial barrier function and increases claudin-4 expression in Caco-2 cells. *J. Nutr.* 138 (6):1067–1073.
- Azuma, T; Shigeshiro, M; Kodama, M; Tanabe, S; Suzuki, T (2013): Supplemental Naringenin Prevents Intestinal Barrier Defects and Inflammation in Colitic Mice. *Journal of Nutrition* 143 (6):827–834.
- Bazzoni, G; Martinez-Estrada, OM; Orsenigo, F; Cordenonsi, M; Citi, S; Dejana, E (2000): Interaction of junctional adhesion molecule with the tight junction components ZO-1, cingulin, and occludin. *J. Biol. Chem.* 275 (27):20520–20526.
- Dunagan, M; Chaudhry, K; Samak, G; Rao, RK (2012): Acetaldehyde disrupts tight junctions in Caco-2 cell monolayers by a protein phosphatase 2A-dependent mechanism. *AJP: Gastrointestinal and Liver Physiology* 303 (12):G1356.

- Fujita, T (1952): A fixation muscle system in the human large intestine. *Anat. Rec.* 114 (3):467–477.
- Furuse, M (2010): Molecular Basis of the Core Structure of Tight Junctions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 2 (1):a002907.
- Holmes, R; Hourihane, DO; Booth, CC (1961): The mucosa of the small intestine. *Postgrad Med J* 37:717–724.
- Ikenouchi, J; Furuse, M; Furuse, K; Sasaki, H; Tsukita, S; Tsukita, S (2005): Tricellulin constitutes a novel barrier at tricellular contacts of epithelial cells. *J. Cell Biol.* 171 (6):939–945.
- Jesaitis, LA; Goodenough, DA (1994): Molecular characterization and tissue distribution of ZO-2, a tight junction protein homologous to ZO-1 and the *Drosophila* discs-large tumor suppressor protein. *J. Cell Biol.* 124 (6):949–961.
- Lee, E; Ji, G; Sung, M (2010): Quercetin and kaempferol suppress immunoglobulin E-mediated allergic inflammation in RBL-2H3 and Caco-2 cells. *Inflamm. Res.* 59 (10):847–854.
- Leung, CL; Green, KJ; Liem, RKH (2002): Plakins: a family of versatile cytolinker proteins. *Trends Cell Biol.* 12 (1):37–45.
- Loftus EV Jr. (2004): Clinical epidemiology of inflammatory bowel disease: Incidence, prevalence, and environmental influences. *Gastroenterology* 126 (6):1504–17.
- Martín-Padura, I; Lostaglio, S; Schneemann, M; Williams, L; Romano, M; Fruscella, P; Panzeri, C; Stoppacciaro, A; Ruco, L; Villa, A; Simmons, D; Dejana, E (1998): Junctional adhesion molecule, a novel member of the immunoglobulin superfamily that distributes at intercellular junctions and modulates monocyte transmigration. *J. Cell Biol.* 142 (1):117–127.
- Molodecky, NA; Soon IS; Rabi, DM; Ghali, WA; Ferris, M; Chernoff, G; Benchimol, EI; Panaccione, R; Ghosh, S; Barkema, HW; Kaplan, GG (2012): Increasing incidence and prevalence of the inflammatory bowel diseases with time, based on systematic review. *Gastroenterology* 142 (1):46–54.
- Nones, K; Dommels, YEM; Martell, S; Butts, C; McNabb, WC; Park, ZA; Zhu, S; Hedderley, D; Barnett, MPG; Roy, NC (2009): The effects of dietary curcumin and rutin on colonic inflammation and gene expression in multidrug resistance gene-deficient (*mdr1a*<sup>-/-</sup>) mice, a model of inflammatory bowel diseases. *BJN* 101 (02):169.
- Rao, RK; Basuroy, S; Rao, VU; Karnaky Jr, KJ; Gupta, A (2002): Tyrosine phosphorylation and dissociation of occludin-ZO-1 and E-cadherin-beta-catenin complexes from the cytoskeleton by oxidative stress. *Biochem. J.* 368 (Pt 2):471–481.
- Sergent, T; Piront, N; Meurice, J; Toussaint, O; Schneider, Y (2010): Anti-inflammatory effects of dietary phenolic compounds in an in vitro model of inflamed human intestinal epithelium. *Chem. Biol. Interact.* 188 (3):659–667.
- Sheth, P; Seth, A; Atkinson, KJ; Gheyi, T; Kale, G; Giorgianni, F; Desiderio, DM; Li, C; Naren, A; Rao, R (2007): Acetaldehyde dissociates the PTP1B-E-cadherin-β-catenin complex in Caco-2 cell monolayers by a phosphorylation-dependent mechanism. *Biochem. J.* 402 (2):291.
- Shivananda, S; Lennard-Jones, J; Logan, R; Fear, N; Price, A; Carpenter, L; van Blankenstein, M. (1996): Incidence of inflammatory bowel disease across Europe: is there a difference between north and south? Results of the European Collaborative Study on Inflammatory Bowel Disease (EC-IBD). *Gut* 39 (5):690–7

- Song, W; Wang, Y; Meng, F; Zhang, Q; Zeng, J; Xiao, L; Yu, X; Peng, D; Su, L; Xiao, B; Zhang, Z; Bereswill, S (2010): Curcumin Protects Intestinal Mucosal Barrier Function of Rat Enteritis via Activation of MKP-1 and Attenuation of p38 and NF- $\kappa$ B Activation. *PLoS ONE* 5 (9):e12969.
- Suzuki, T; Hara, H (2009): Quercetin Enhances Intestinal Barrier Function through the Assembly of Zonula Occludens-2, Occludin, and Claudin-1 and the Expression of Claudin-4 in Caco-2 Cells. *Journal of Nutrition* 139 (5):965–974.
- Suzuki, T; Tanabe, S; Hara, H (2010): Kaempferol Enhances Intestinal Barrier Function through the Cytoskeletal Association and Expression of Tight Junction Proteins in Caco-2 Cells. *Journal of Nutrition* 141 (1):87–94.
- Peeters, PH1; Slimani, N; van der Schouw, YT; Grace, PB; Navarro, C; Tjonneland, A; Olsen, A; Clavel-Chapelon, F; Touillaud, M; Boutron-Ruault, MC; Jenab, M; Kaaks, R; Linseisen, J; Trichopoulou, A; Trichopoulos, D; Dilis, V; Boeing, H; Weikert, C; Overvad, K; Pala, V; Palli, D; Panico, S; Tumino, R; Vineis, P; Bueno-de-Mesquita, HB; van Gils, CH; Skeie, G; Jakszyn, P; Hallmans, G; Berglund, G; Key, TJ; Travis, R; Riboli, E; Bingham, SA (2007): *Journal of Nutrition* 137 (5):1294-300.
- Wang, H; Murphy PA (1994): Isoflavone Content in Commercial Soybean Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42 (8):1666–73.
- Messina, M1; Nagata, C; Wu, AH (2006): Estimated Asian adult soy protein and isoflavone intakes. *Nutrition and Cancer* 55(1):1-12.

## **Lebensmittel mit Zusatznutzen – Herausforderung für die Lebensmitteltechnologie**

Beate Petersen, Monika Frenzel, Karin Schwarz und Anja Steffen-Heins

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

### **Einleitung**

Gesunde Lebensmittel mit Zusatznutzen, welche über ihre Ernährungsfunktion hinaus einen gesundheitlichen Mehrwert versprechen, müssen eine hohe Verbrauchererwartung erfüllen, sensorisch einwandfrei sein und die Stabilität von bioaktiven Substanzen während der Produktionsprozesse und der Lagerung dieser Lebensmittel garantieren. Die Herstellung gesunder Lebensmittel kann dabei sowohl die Entfernung eines Lebensmittelinhaltsstoffes mit unerwünschten Effekten, als auch eine Anreicherung eines natürlichen Lebensmittelinhaltsstoffes bedeuten, wie beispielsweise ein erhöhter Vitamin C-Gehalt in goldener Kiwi. Die Substitution eines unerwünschten Lebensmittelinhaltsstoffs durch einen ernährungsphysiologisch günstigeren Inhaltsstoff oder die chemische Modifikation eines Inhaltsstoffes zur Reduktion eines unerwünschten Bestandteiles sind ebenfalls technologische Strategien zur Produktion gesunder Lebensmittel. Am häufigsten werden jedoch gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen zugesetzt (z.B. Einsatz von Omega 3-Fettsäuren in Getränken und Broten, Folsäure reiche Mehle) und/oder Strategien entwickelt um die Bioverfügbarkeit oder Absorption von bioaktiven Stoffen zu verbessern. Die geringe Wasserlöslichkeit vieler bioaktiver Substanzen, deren Dosis-Wirkungs-Beziehung, eine verminderte Bioverfügbarkeit, unerwünschte sensorische Eigenschaften sowie eine begrenzte Lagerstabilität sind aktuelle lebensmitteltechnologische Herausforderungen. Im Gegensatz zu Nahrungsergänzungsmitteln ist die Matrix ein Lebensmittelsystem, was in der Lage sein muss, die bioaktiven Substanzen zu lösen bzw. aufzunehmen. Dabei darf weder Geschmack, Qualität, Haltbarkeit und Konsistenz des Lebensmittels verändert oder die Funktionalität der Wirkstoffe beeinträchtigt werden. Die Anreicherung bzw. der damit verbundene Zusatznutzen der Lebensmittel ist für viele der erwünschten bioaktiven Substanzen erst durch moderne Einbringungskonzepte möglich.

Quercetin ist ein sekundärer Pflanzeninhaltsstoff, der unter anderem das Risiko einer kardiovaskulären Erkrankung senken kann und vorwiegend über den Kon-

sum von Äpfeln, Beeren aber auch Zwiebeln aufgenommen wird. Aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit und der damit verbundenen begrenzten Bioverfügbarkeit des Quercetins bzw. seines bitteren Geschmacks, bedarf eine Anreicherung im Lebensmittel in Abhängigkeit der gewählten Lebensmittelmatrix und der gewählten Quercetinquelle einer modernen Anreicherungstechnologie wie der Vakuumimprägnierung oder der Verkapselung des Biowirkstoffes in Liposomen.

### **Vakuuimprägnierung – Anreicherung von bioaktiven Stoffen in porösen Lebensmittelmatrixes**

Die Vakuumimprägnierung stellt ein Anreicherungskonzept dar, bei welchem poröse Lebensmittel durch das Einbringen einer Wirkstofflösung beladen werden. So konnten Apfelscheiben mit einem quercetinreichen Apfelschalensextrakt angereicht werden (Schulze et al. 2009). Das Prinzip der Beladung beruht auf dem Austausch der Luft der Interzellularräume des Apfelparenchyms mit einer wirkstoffreichen Imprägnierlösung, welche aufgrund von Druckveränderungen in das poröse Apfelgewebe eingebracht wurde (Abb. 1).

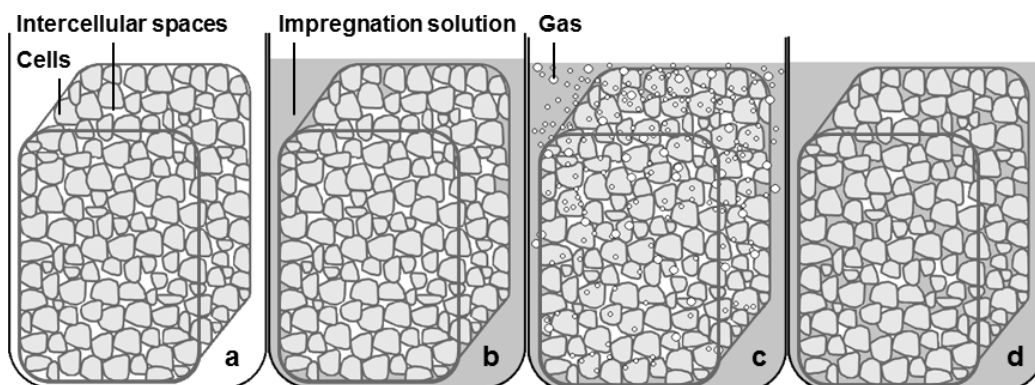


Abbildung 1 Anreicherung der Interzellularräume des Apfelparenchyms durch das Verfahren der Vakuumimprägnierung

Die Anreicherung des Apfelgewebes konnte durch Gewebeaufnahmen vor und nach dem Anreicherungsverfahren mittels röntgenstrahlenbasierten Microcomputertomographie (XR- $\mu$ CT) näher charakterisiert werden (Schulze et al. 2012). Hierbei konnten durch die Ermittlung des Porenvolumens strukturelle Zusammenhänge des Apfelgewebes und dem Grad der Anreicherung dargestellt und spezifiziert werden. Der Grad der Anreicherung unterliegt verschiedenen Einflussfaktoren wie dem angelegten Vakuum, den osmotischen Verhältnissen zwischen Imprägniergut und Imprägnierlösung und der Viskosität der Imprägnier-

lösung. Der Grad der Imprägnierung wurde durch die Gehaltssteigerung an Quercetinderivat bezogen auf die Trockenmasse der Apfelchips ermittelt.

Während bei Drücken von 800 mbar bis 200 mbar nur geringe Gehaltssteigerungen zwischen 150  $\mu\text{g/g}$  TM und 170  $\mu\text{g/g}$  TM erzielt werden konnten, führte eine Druckabsenkung bis auf 100 mbar zu einer Wirkstoffkonzentration von 450  $\mu\text{g/g}$  TM (Abb. 2).

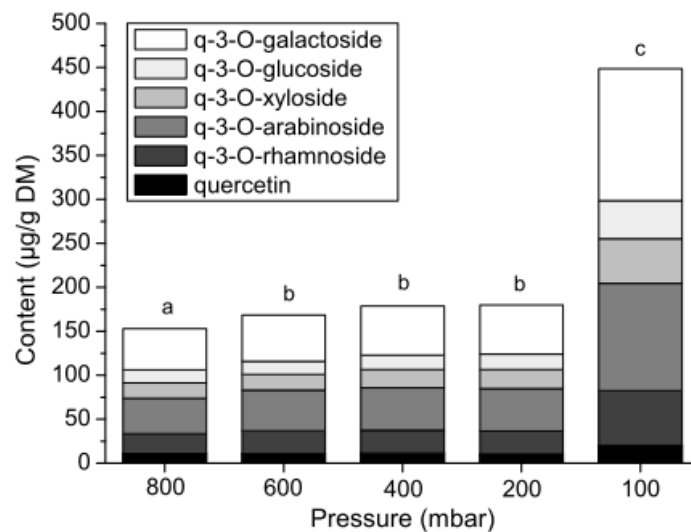


Abbildung 2 Vakuuminprägnierung von Äpfeln mit Quercetinderivaten in Abhängigkeit des Druckes in der Vakuumphase.

Die Druckabsenkung geht mit einem intensiven Stoffaustausch durch die Steigerung der hydrodynamischen Mechanismen bzw. der Deformations- und Relaxationsphänomene einher. Durch den Einsatz von hypotonen Imprägnierlösungen (Wasser mit Apfelschalenextrakt) kann der Imprägniergrad zusätzlich gesteigert werden, wogegen die Verwendung von Pektin zu einer konzentrationsabhängigen Verschlechterung der Anreicherung führte (Abb. 3). Der große Vorteil eines solchen Einbringungskonzeptes liegt neben einer deutlichen Verbesserung der Produktsensorik, durch die Reduktion der Bitterkeit der quercetinreichen Inhaltsstoffe, bei der Erhaltung der Funktionalität der eingebrachten Wirkstoffe.



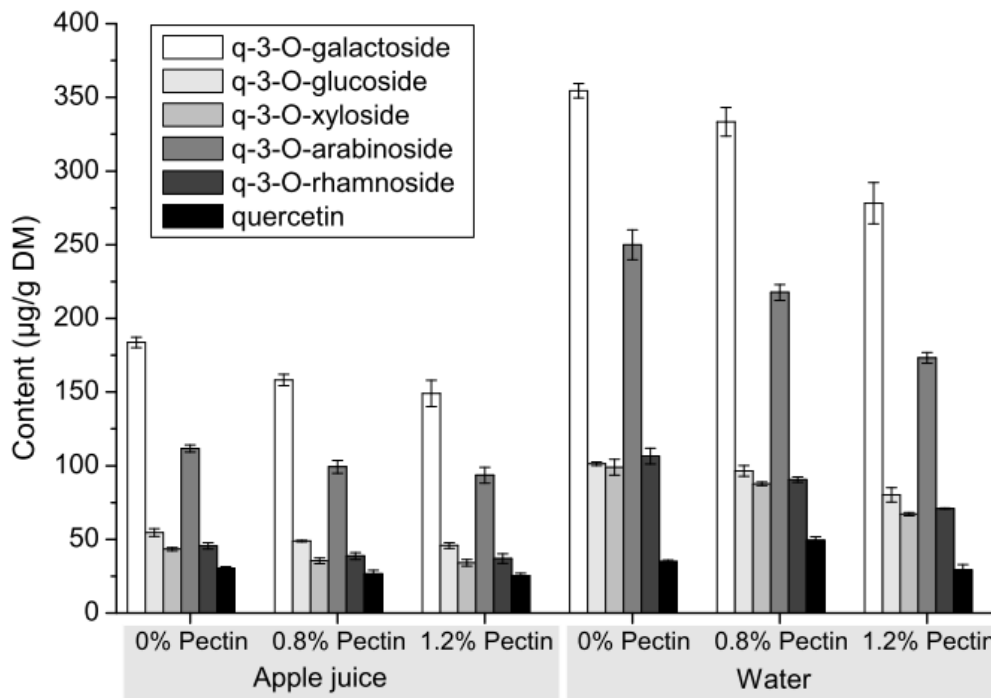


Abbildung 3 Vakuumimprägnierung von Äpfeln mit Quercetinderivaten in Abhängigkeit der verwendeten Imprägnierlösung.

### Liposomale Verkapselung - Anreicherung von bioaktiven Stoffen in flüssigen Lebensmittelmatrices

In wässrigen Lösungen bilden Phospholipide spontan Doppelmembranvesikel aus, sogenannte Liposomen, die Zellmembranen strukturell stark ähneln. Aufgrund ihrer Eigenschaften hydrophile und lipophile Stoffe einzukapseln, können Liposome als Transporter für bioaktive Substanzen in Lebensmittel fungieren und für eine bessere Aufnahme und Bioverfügbarkeit der Wirkstoffe sorgen. Sie schützen die eingekapselten Biowirkstoffe und ermöglichen die konzentrierte Einbringung wasserunlöslicher Stoffe in eine wasserreiche Lebensmittelmatrix. Aufgrund der ungesättigten Fettsäuren der Phospholipide aus der Hauptquelle Soja oder Ei, zeigen lebensmittelgeeignete Liposomen eine geringe physikalische Stabilität, die zu einem Verlust der eingekapselten Wirkstoffe führen kann. Interaktionen zwischen verkapseltem Wirkstoff und der liposomalen Membran sind bisher nur wenig untersucht und der Einfluss auf die chemische Stabilität insbesondere bei der Verkapselung von Wirkstoffen mit pro- oder antioxidativen Eigenschaften ist nicht bekannt.

Die Stabilität der Liposome kann durch ein Coating mit  $\beta$ -Lactoglobulin deutlich verbessert werden (Abb. 4), da die Semipermeabilität der Membran redu-

ziert und damit Wechselwirkungen mit der Lebensmittelmatrix deutlich verringert werden (Frenzel und Steffen-Heins, 2015).

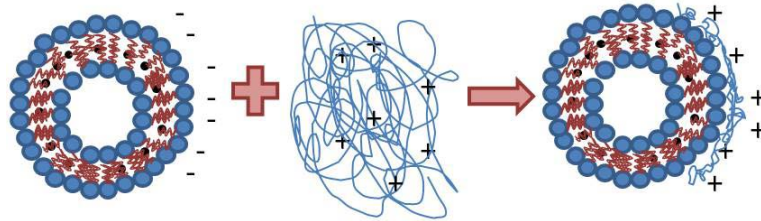


Abb.4 Schematische Darstellung eines Proteincoatings um Liposomen durch elektrostatische Anziehungskräfte, da das Protein unterhalb seines isoelektrischen Punktes positiv geladen ist.

Im Gegensatz zu ungecoateten Liposomen, konnten gecoatete Liposome, die z.B. mit Quercetin beladen waren sprühtrocknet werden und als Pulver in ein Getränk eingerührt werden (Frenzel et al, 2015). Liposome ohne ein Coating, mussten dagegen im Getränk frisch hergestellt werden und rahmten früher auf als gecoatete Liposome, waren also physikalisch instabiler. Das Getränk mit gecoateten Liposomen war pH-stabiler und eine Lipidoxidation war im Untersuchungszeitraum einer entsprechenden Haltbarkeit eines Molkegetränks nicht messbar (Frenzel et al., 2015).

Während des *in vitro* Verdau in simuliertem Magensaft, zeigten sich Liposome ohne ein Coating sehr sensitiv gegenüber dem niedrigen pH Wert von 2 und verdoppelten in den ersten 10 min sprunghaft ihre mittlere Partikelgröße, bevor sie wieder ihre Ausgangsgröße annahmen (Abb. 5).

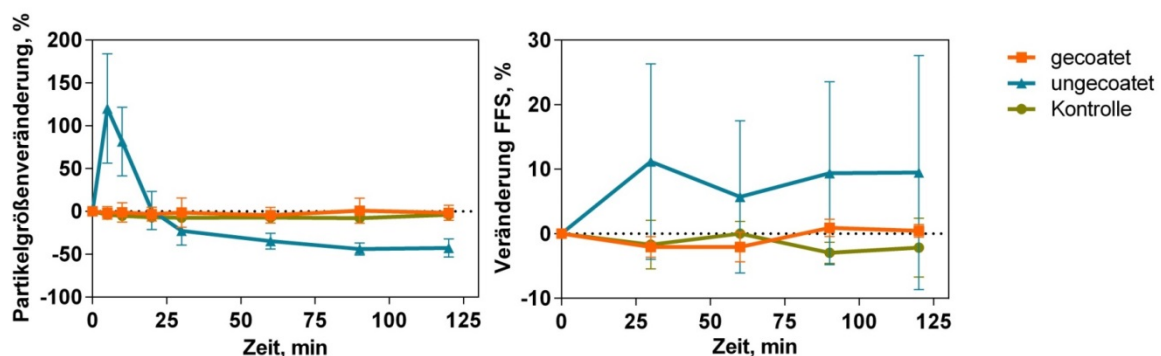


Abbildung 5: *In vitro* Verdau von gecoateten und mit Quercetin beladenen Liposomen (■), beladenen, aber ungecoateten Liposomen (▲) und gecoateten aber unbeladenen Liposomen (●) in simuliertem Magensaft. links: Veränderung der Partikelgrößenverteilung. rechts: Abbau der Liposome in freie Fettsäuren.

Dieses unerwartete Verhalten gegenüber rein wässrigen liposomalen Lösungen (Frenzel und Steffen-Heins, 2015) ist mit einem hohen Gehalt an osmotisch aktiven Stoffen, wie Zucker und Salze im Molkegetränk zu erklären (Frenzel et al., 2015). Taupin und Kollegen (1975) vermuten Poren in der liposomalen Membran, die unter osmotischem Stress komplett geöffnet vorliegen und die Liposomen bis zum Erreichen eines maximalen Radius destabilisieren. Anschließend erfolgt ein flip-flop Effekt und eine klassische Osmose setzt ein, die dafür sorgt, dass das Wasser aus dem Liposomeninneren wieder ausströmt und der liposomale Radius wieder kleiner wird. Gecoatete Liposomen waren dagegen physikalisch stabil im Magenmilieu (Abb. 5), da durch das Coating die Semipermeabilität der Liposomen aufgehoben wird (Frenzel und Steffen-Heins, 2015).

Im simulierten Darmmedium stieg die mittlere Partikelgröße aller Liposomen über die Verdauzeit an. Enthaltene Lipasen setzten aus den Phospholipiden Fettsäuren frei, wobei die gecoateten Liposomen stärker abgebaut wurden (Abb. 6). Bei einem neutralen pH Wert wie im Darmmedium, ist das  $\beta$ -Lactoglobulin nicht mehr elektrostatisch an die negative Liposomenoberfläche gebunden und das Coating löst sich ab. Durch die vormals invasive Einlagerung des Proteins in die Liposomenoberfläche wird diese nach ablösen zerklüftet und bietet damit den Lipasen die Möglichkeit besser bis zu den Fettsäuren der Phospholipide vorzudringen und deren Abbau zu beschleunigen (Frenzel und Steffen-Heins, 2015).

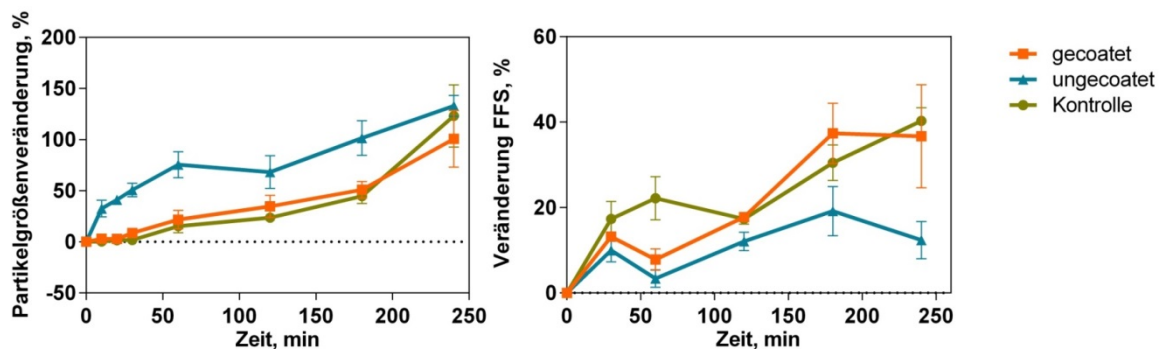


Abbildung 5: *In vitro* Verdau von gecoateten und mit Quercetin beladenen Liposomen (■), beladenen, aber ungecoateten Liposomen (▲) und gecoateten aber unbeladenen Liposomen (●) in simuliertem Darmsaft. links: Veränderung der Partikelgrößenverteilung. rechts: Abbau der Liposome in freie Fettsäuren.

Das Proteincoating ermöglicht somit eine bessere technologische Handhabbarkeit der Liposomen und erhöht deren physikalische Stabilität im Lebensmittel und während der Magenpassage. Im Dünndarm wird das Coating allerdings ab-

gelöst und die Liposome verhalten sich vergleichbar mit nicht gecoateten Liposomen. Dieses Verhalten zeigt sich zum Beispiel auch in der relativen Bioverfügbarkeit des Quercetin-Aglykons, die sich für gecoatete und ungecoatete Liposomen nicht unterscheidet, aber aus dieser liposomalen Verkapselung viertel höher ist als aus einer Hartkapsel.

### **Zusammenfassung**

Moderne Anreicherungstechniken ermöglichen das kontrollierte Einbringen von bioaktiven Wirkstoffen in funktionelle Lebensmittel. Die Vakuumimprägnierung eignet sich sehr gut für das gezielte Beladen einer porösen Lebensmittelmatrix mit solchen Wirkstoffen. Für flüssige Lebensmittel eignen sich beispielsweise mit Molkenproteinisolat gecoatete Liposome, die eine lager- und prozessstabile Form Liposomen darstellen. Der eingebrachte Wirkstoff wird geschützt und chemischen sowie physikalischen stabilisiert. Die sensorischen Eigenschaften der Lebensmittel können durch Einkapselung der Biowirkstoffe deutlich verbessert werden, insbesondere wenn es sich um bittere und adstringierende Wirkstoffe handelt. Bei der Verwendung von Trägersystemen, wie z.B. der Liposomen kann die Freisetzung des Wirkstoffes gesteuert werden. Insgesamt tragen solche Technologien dazu bei, die relative Bioverfügbarkeit von schwer wasserlöslichen Wirkstoffen zu gewährleisten bzw. deutlich zu erhöhen.

### **Literatur**

- Frenzel, M. und Steffen-Heins, A. (2015) Whey protein coating increases bilayer rigidity and stability of liposomes in food-like matrices, *Food Chemistry* 173: 1090–1099. [10.1016/j.foodchem.2014.10.076](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.076).
- Frenzel, M., Krolak, E; Wagner, AE und Steffen-Heins, A (2015) Physicochemical properties of WPI coated liposomes serving as stable transporters in a real food matrix. *LWT-FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, accepted
- Schulze B, Schmidt S, Hubbermann EM, Schwarz K (2009) Method for producing plant tissues suitable for consumption and having an increased content of quercetin and/or quercetin derivatives PCT/DE2009/001711
- Schulze B, Peth S, Hubbermann E, Schwarz K (2012) The influence of vacuum impregnation on the fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives in combination with pore structures X-ray analysis. *Journal of Food Engineering* 109:380–387
- Taupin, C., Dvolaitzky, M., & Sauterey, C. (1975). Osmotic pressure induced pores in phospholipid vesicles. *Biochemistry*, 14, 4771–4775.

# **Ernährungsmuster in Deutschland: Identifizierung, Charakterisierung und Analyse von Einflussfaktoren**

Silke Thiele

Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre

## **Einleitung**

Um die Ernährungsqualität einer Bevölkerung zu beschreiben, wird in der internationalen Literatur zunehmend auf die Darstellung von Ernährungsmustern zurückgegriffen. Solche Muster fokussieren nicht auf den Konsum einzelner Lebensmittel bzw. Lebensmittelgruppen, sondern darauf, wie verschiedene Lebensmittel miteinander kombiniert werden. Schließlich sind es nicht einzelne Lebensmittel, die die Versorgung mit Energie und Nährstoffen determiniert, sondern deren Kombination. Für Deutschland gibt es bisher nur wenige Analysen, die sich mit der Identifizierung von Ernährungsmustern beschäftigt haben (Richter A. et al, 2012; Heidemann C. et al, 2011). Diese Analysen sind allerdings wichtig, um weitere Ansatzpunkte zur Verbesserung der Ernährungsqualität ableiten zu können.

In diesem Projekt werden Ernährungsmuster auf Basis repräsentativer Daten für Deutschland identifiziert. Anschließend soll die Ernährungsqualität in diesen Mustern auf Basis von Nährstoff- und Energiedichten beschrieben werden, und es wird analysiert, von welchen Bevölkerungsgruppen diese Muster konsumiert werden. Dabei werden sowohl soziodemografische Variablen als auch Einstellungsvariablen zur Erklärung herangezogen. Abschließend werden aus den Ergebnissen der Analyse Schlussfolgerungen für die Ernährungsaufklärung abgeleitet.

## **Datengrundlage**

Als Datengrundlage dieser empirischen Analyse diente das repräsentative Haushaltspanel der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) aus dem Jahr 2011. In diesem Panel scannen etwa 13.000 für Deutschland repräsentative Haushalte durchgängig sämtliche Lebensmitteleinkäufe, die sie für den häuslichen Verbrauch einkaufen. Bei den industriell verpackten Lebensmitteln, wird der EAN Code gescannt, für die unverpackten Lebensmittel wird den Haushalten ein Codebuch zur Verfügung gestellt (Buder, F, 2011). Insgesamt wurden auf diese Weise Mengen von etwa 12 Mio. Lebensmittelkäufen erfasst. Um zusätzlich gesundheitliche Informationen zu den Lebensmitteln zu erhalten wurden die

Daten mit einer Nährstoffdatenbank, dem Bundeslebensmittelschlüssel, verknüpft.

Aufgrund der großen Vielzahl erfasster Lebensmittel, war es für die nachfolgende statistische Analyse (Hauptkomponentenanalyse) notwendig, die Lebensmittel in Gruppen zusammenzufassen. Da es hier um gesundheitliche Aspekte geht, wurde für die Vorgruppierung die Ernährungspyramide der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) verwendet. Diese Pyramide teilt Lebensmittel nach ihrem gesundheitlichen Wert in verschiedene Stufen ein. Auf den unteren Stufen der Pyramide befinden sich Lebensmittel mit geringerer Energie- und höherer Nährstoffdichte (z.B. Gemüse, Salat), auf den oberen Stufen Lebensmittel mit höherer Energie- und geringerer Nährstoffdichte (z.B. Süßigkeiten, Snacks). Auf der Fettebene richtet sich die Einteilung nach der Fettsäurezusammensetzung, so dass z.B. Raps- und Walnussöl aufgrund ihres höheren Anteils ungesättigter Fettsäuren zusammengefasst werden, sowie Butter, Schmalz und Pflanzenfette, da sie viele gesättigte Fettsäuren enthalten. (DGE, 2005) Insgesamt wurden die Lebensmittel für diese Analyse 18 verschiedenen Lebensmittelgruppen der DGE Ernährungspyramide zugeordnet. Die Berücksichtigung von Mischprodukten (z.B. Salamipizza) erfolgte, indem diese in ihre Anteile zerlegt und in die einzelnen Stufen der Ernährungspyramide eingeordnet wurden.

### **Identifizierung von Ernährungsmustern**

Um Ernährungsmuster zu identifizieren wurde eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Mit dieser Methode kann ermittelt werden, welche der 18 DGE-Lebensmittelgruppen vergleichsweise häufig in Kombination gekauft werden, also höher miteinander korreliert sind. Die höher korrelierten Lebensmittelgruppen werden als Hauptkomponenten bezeichnet, die ein Muster bilden (Hu, F.B. 2002; Michels, K. B., 2005; Schulze, M. B., 2005).

Mittels der Hauptkomponentenanalyse konnten drei Muster identifiziert werden.<sup>1</sup> Für diese drei Muster sind in Tabelle 1 die sogenannten Faktorladungen dargestellt, die angeben, wie stark das jeweilige Muster mit den Ausgangsvariablen, den 18 Lebensmittelgruppen, korreliert ist. Ersichtlich ist z.B., dass das erste Muster relativ hoch mit der Lebensmittelgruppe „Gemüse, Blattsalate, Säfte“ korreliert ist (Faktorladung 0,694), während die beiden anderen Muster geringere Korrelationen zu dieser Lebensmittelgruppe aufweisen.

---

<sup>1</sup> Die Zahl der extrahierten Hauptkomponenten richtete sich nach dem Eigenwertkriterium. Dieses Kriterium führte in der hier vorliegenden Analyse zur Extraktion von drei Hauptkomponenten.

Werden als relevante Korrelationen diejenigen definiert, die eine Faktorladung größer 0,4 aufweisen, dann kann das erste Muster wie folgt charakterisiert werden: Es ist relativ hoch mit Lebensmitteln korreliert, die innerhalb der pflanzlichen Ebene als gesünder gelten (Gemüse, Obst, Vollkornprodukte). Außerdem besteht eine höhere Korrelation zu Fisch, dann aber nicht zu fettärmeren, sondern zu fettreicheren Milch- und Fleischprodukten sowie Wurst, Eiern und Sahne. Auf der Fettebene bestehen höhere Korrelationen zu Ölen und Butter. Aufgrund dieser Zusammensetzung wurde das erste Muster als „natural“ bezeichnet, denn es bestehen hauptsächlich Korrelationen zu natürlichen industriell unverarbeiteten Lebensmitteln. Der zweiten Gruppe wurde der Begriff „processed“ zugeteilt, denn es finden sich höhere Korrelationen zu industriell verarbeiteten Produkten, wie geschälten Getreideprodukten und Snacks, fettärmeren Milchprodukten, und auf der Fettebene zu Margarine. Die dritte Komponente wurde traditional/ meat genannt, denn hier bestehen hohe Korrelationen zu Kartoffeln sowie Fleisch in allen Varianten und auf der Fettebene zu den Fetten, die eher als ungesünder gelten.

**Tabelle 1:** Faktorladungen ermittelt auf Basis einer Hauptkomponentenanalyse

<b>DGE-Lebensmittelgruppen</b>	<b>natural</b>	<b>processed</b>	<b>traditional</b>
<b>Pflanzliche Lebensmittel</b>			
Gemüse, Blattsalate, Säfte*	0,694	0,372	0,326
Obst	0,748	0,256	0,067
Vollkornprodukte, Nüsse, ungeschälter Reis	0,629	0,253	-0,127
Kartoffeln, Graubrot	0,541	0,319	0,425
Getreideprodukte, geschälter Reis	0,303	0,686	0,358
Zucker, Kuchen, Süßigkeiten, Knabbereien, fettreiche Kartoffelprodukte	0,379	0,651	0,326
<b>Tierische Lebensmittel</b>			
Fettarmes Fleisch und fettarme Fleischwaren	0,256	0,347	0,555
Fisch	0,604	0,162	0,284
fettarme Milch und Milchprodukte	0,173	0,768	-0,167
Fettreicheres Fleisch	0,328	0,436	0,646
Fettreichere Milch und Milchprodukte	0,484	0,198	0,258
Fettreichere Fleischwaren, Wurst, Eier Sahne	0,423	0,471	0,588
Speck	0,096	0,041	0,635
<b>Fette und Öle</b>			
Raps- und Walnussöl	0,115	0,368	0,214
Weizenkeim, Soja- und Olivenöl	0,568	0,026	0,097
Margarine, Maiskeim- und Sonnenblumenöl	0,109	0,632	0,428
Butter	0,513	0,057	0,405
Schmalz, Pflanzenfette	0,051	0,094	0,570
<i>Cronbach Alpha</i>	<i>0,770</i>	<i>0,759</i>	<i>0,758</i>

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis des GfK-Haushaltspanels 2011

Zur Identifizierung der Muster kann zusammenfassend festgehalten werden, dass sich drei Muster abgrenzen lassen, wovon das Muster „natural“ nach aktuellen Ernährungsempfehlungen als relativ gesund angesehen werden kann. Dennoch sind auch in diesem Muster ungesündere Lebensmittelgruppen in höherem Maße vertreten. Dazu gehören die fettreichen Milch- und Fleischprodukte sowie Sahne, Eier und Butter. Die fettärmeren Varianten finden sich im Muster „processed“, in dem jedoch vorwiegend höhere Korrelationen zu den geschälten Getreideprodukten, Süßigkeiten und Snacks bestehen. Das dritte Muster ist insbesondere durch einen höheren Fleischkonsum charakterisiert. Keines der Muster entspricht somit vollständig den aktuellen Ernährungsempfehlungen.

### **Charakterisierung der Ernährungsqualität der Muster**

In diesem Abschnitt soll die Frage beantwortet werden, wie die Ernährungsqualität der Lebensmittelwarenkörbe der Haushalte beschrieben werden kann, die einem der drei zuvor identifizierten Muster vermehrt folgen. Dazu wurden auf Basis der Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse sogenannte Faktorscores ermittelt. Diese geben Auskunft darüber, in welcher Ausprägung ein Muster im jeweiligen Haushaltswarenkorb enthalten ist. Im Anschluss wurde der Zusammenhang der Musterausprägung des Warenkorbes zu verschiedenen Ernährungsqualitätsindikatoren ermittelt. Als Ernährungsqualitätsindikatoren wurden die Energiedichte, Nährstoffdichten, bei denen in Deutschland tendenziell eine Unterversorgung vorliegt, sowie der P/S-Quotient gewählt.

Beim Muster natural zeigt sich, dass alle Nährstoffdichten mit steigender Ausprägung dieses Musters steigen, ganz besonders bei Folaten und Vitamin C. Gleichzeitig sinkt die Energiedichte, was ebenfalls als günstig zu beurteilen ist. Der einzige Nachteil dieses Musters zeigt sich beim P/S-Quotienten. Dieser Quotient bildet das Verhältnis mehrfach ungesättigter zu gesättigter Fettsäuren ab. Da dieses Verhältnis mit steigender Ausprägung des Musters natural sinkt, ist das ernährungsphysiologisch ungünstig und ein Ausdruck dafür, dass in diesem Muster relativ viel fettreiche Milch und Fleischprodukte sowie Sahne, Eier und Butter konsumiert werden. Beim Muster processed zeigt sich im Vergleich zum vorigen natural- Muster ein umgekehrtes Bild, denn alle Nährstoffdichten sinken mit steigender Ausprägung dieses Musters. Interessant ist, dass sich die Energiedichte kaum ändert, obwohl hier im Vergleich der Muster am meisten Süßigkeiten und Snacks konsumiert werden. Da jedoch auch häufig fettreduzierte Lebensmittel (Milchprodukte und Margarinesorten) gekauft werden, wirkt sich das in der Summe nicht negativ auf die Energiedichte aus. Das Konsumverhalten hinsichtlich des Fettkonsums spiegelt sich auch im P/S-Quotienten, denn dieser steigt mit steigender Ausprägung des Musters. Beim Muster traditional/ meat zeigt sich hinsichtlich Nährstoffdichten ein gemischtes



Bild. Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass die Nährstoffdichten mit Ausnahme von Vitamin D, Jod und Fluor sinken. Hinsichtlich der Energiedichte und des P/S-Quotienten ist das Bild wieder eindeutiger, denn beide Komponenten entwickeln sich mit steigender Ausprägung in eine ernährungsphysiologisch ungünstige Richtung. Eine zusammenfassende Beurteilung der Ernährungsqualität der drei Muster ist in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Zusammenfassende Beurteilung der Ernährungsqualität in den Mustern

	Energiedichte	Nährstoffdichten	P/S-Quotient
Natural	+	+	-
Processed	+/-	-	+
traditional/ meat	-	+/-	-

Es zeigt sich für das Muster natural eine negative Bewertung hinsichtlich des P/S-Quotienten, für das Muster processed eine negative bei den Nährstoffdichten und für das Muster traditional/ meat zwei negative Bewertungen in den Bereichen Energiedichte und P/S-Quotient. Festgehalten werden kann, dass jedes Muster spezifische Verbesserungsbedarfe aufweist, die in unterschiedlichen Bereichen liegen.

### **Analyse von Einflussfaktoren**

Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, von welchen Konsumentengruppen die Muster vorwiegend nachgefragt werden. Dazu wurden Regressionsanalysen mit den Factorscores der drei Muster als abhängige Variable und verschiedenen soziodemografischen und Einstellungsgrößen als unabhängige Variablen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Tabelle 3 dargestellt. Es zeigt sich, dass das Einkommen bei allen Mustern signifikant die Musterausprägung beeinflusst. Während das Muster natural aber mit steigendem Einkommen vermehrt nachgefragt wird, werden die beiden anderen Muster mit steigendem Einkommen weniger nachgefragt, denn hier sind die Vorzeichen negativ. Eng damit verbunden ist das Preisniveau, zu dem die Haushalte einkaufen. Die Haushalte, die Lebensmittel im höheren Preissegment kaufen, finden sich eher im Muster natural und traditional/ meat, diejenigen, die geringere Preise zahlen, im Muster processed. Obwohl das Preisniveau, zu dem Haushalte einkaufen auf unterschiedlichen Niveaus liegt, bezeichnen sich alle Haushalte als preisbe-

wusst, am stärksten jedoch die des Musters processed, denn hier ist der Koeffizient am höchsten.

Auch die Bildung hat einen signifikanten Einfluss auf die Musterausprägung. Während das Muster natural mit steigender Bildung vermehrt nachgefragt wird, wird das Muster traditional/ meat mit steigender Bildung weniger nachgefragt. Im Muster processed ist die Bildung nicht signifikant, d.h. hier sind offensichtlich alle Bildungsgruppen vertreten.

Beim Alter ist bei allen Mustern ein signifikant positiver Einfluss ersichtlich, d.h. die Ausprägungen aller Muster steigen mit steigendem Alter. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich Ernährungsmuster, unabhängig davon, um welches Muster es sich handelt, mit steigendem Alter verfestigen.

**Tabelle 3:** Einflussfaktoren der Ernährungsmuster – Regressionsergebnisse

	Natural	Processed	Traditional
Konstante	-1,293 **	-0,951 **	-1,051 **
<b>Soziodemografische Variablen</b>			
Einkommen (in Tsd. €)	0,080 **	-0,028 **	-0,066 **
Personenzahl im Haushalt	0,038 *	0,331 **	0,212 **
Single, männlich	-0,286 **	-0,015	-0,255 **
Single, weiblich	-0,384 **	-0,006	-0,390 **
Anzahl Kinder 0 bis 6 J.	-0,001	-0,230 **	-0,291 **
Anzahl Kinder 7 bis 13 J.	-0,015	0,041 *	-0,177 **
Anzahl Kinder 14 bis 17 J.	-0,023	0,031	-0,115 **
geringere Bildung	-0,099 **	0,027	0,157 **
höhere Bildung	0,147 **	0,004	-0,129 **
Alter des HH-Vorstands	0,020 **	0,003 **	0,016 **
Preisniveau der Einkäufe	0,040 **	-0,112 **	0,054 **
<b>Einstellungen der haushaltsführenden Person</b>			
Achte auf Ernährungsrichtlinien	0,023 *	0,057 **	-0,132 **
Supplemente & Anreicherungen sinnvoll	-0,173 **	-0,003	0,097 **
Naturbelassenheit von LM ist wichtig	0,081 **	-0,082 **	-0,051 **
Sehr preisbewusst	0,111 **	0,235 **	0,147 **
R <sup>2</sup>	0,197	0,182	0,147

\*\* (\*) signifikant mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 1% (5%)

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis des GfK-Haushaltspanels 2011

Tabelle 3 zeigt, dass auch die Personenzahl im Haushalt Auskunft darüber gibt, wie stark sich Muster verfestigen. Während Singles negative Auswirkungen auf Musterausprägungen aufweisen, bewirkt eine steigende Personenzahl eine steigende Musterausprägung. Bei diesen Personen handelt es sich jedoch nicht um Kinder, denn diese weisen tendenziell einen negativen Einfluss auf, sondern es handelt sich um die erwachsenen Personen im Haushalt.

Hinsichtlich der Einstellungsvariablen ist erkennbar, dass diejenigen, die höhere Ausprägungen im Muster natural aufweisen, auf Ernährungsrichtlinien und die Naturbelassenheit von Lebensmitteln achten, allerdings im Hinblick auf Supplemente und Anreicherungen negativ eingestellt sind. Im Muster traditional/meat zeigt sich ein umgekehrtes Bild: Die Haushalte, die dieses Muster vermehrt nachfragen achten eher nicht auf Ernährungsrichtlinien und die Naturbelassenheit von Lebensmitteln, sehen aber Supplemente und Anreicherungen als sinnvoll an. Auch in der Gruppe processed wird die Naturbelassenheit von Lebensmitteln nicht als wichtig angesehen, allerdings achten diese Konsumenten vermehrt auf Ernährungsrichtlinien, dabei erweist sich der Koeffizient im Vergleich der Muster sogar am höchsten. Dieses Ergebnis ist deshalb besonders interessant, weil das Muster processed dadurch charakterisiert ist, dass vergleichsweise viele geschälte Getreideprodukte, Süßigkeiten und Snacks konsumiert werden, gleichzeitig aber auch fettreduzierte Milchprodukte und Margarine. Somit achten diese Haushalte zwar auf Ernährungsrichtlinien im Bereich fettreduzierte Lebensmittel, nicht jedoch bei der Nachfrage nach Süßigkeiten und Snacks.

### **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Abschließend soll zusammenfassend festgehalten werden, dass sich für Deutschland deutliche Ernährungsmuster abgrenzen lassen. Keines der drei identifizierten Muster entspricht jedoch vollständig den aktuellen Ernährungsempfehlungen. Da offensichtlich alle Muster einen spezifischen Verbesserungsbedarf haben, stellt sich die Frage, ob diese Muster nicht in der Ernährungsaufklärung genutzt werden sollten, um präferenzbasierte Ernährungsempfehlungen zu entwickeln. So ist es vermutlich leichter, einzelne Aspekte innerhalb eines Musters zu verändern als Konsumenten dazu zu bewegen, auf ein ganz anderes Muster überzugehen.

Ein weiteres interessantes Ergebnis dieser Studie ist, dass insbesondere Konsumenten, die vermehrt Süßigkeiten und Snacks in Verbindung mit fettreduzierten tierischen Produkten kaufen, angeben, besonders auf Ernährungsempfehlungen zu achten. Da sie einige der aktuellen Empfehlungen befolgen, sehen sie möglicherweise kein besonderes Problem hinsichtlich ihrer Ernährung, aber gerade dieses Muster war durch eine ungünstige Nährstoffdichte gekennzeichnet. Folglich haben insbesondere Konsumenten, die diesem Muster vermehrt folgen, einen spezifischen Informationsbedarf. Solche Informationen sollten möglichst früh gegeben werden, denn - auch das zeigte diese Analyse - Ernährungsmuster verfestigen sich mit steigendem Alter.

## Literatur

- Buder, F. (2011): Das Kaufverhalten bei Öko-Lebensmitteln. Kausalanalytische Untersuchung der Determinanten der Nachfrage nach ökologisch erzeugten Lebensmitteln. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung (2005): Die dreidimensionale Lebensmittelpyramide, **DGE-special 2/2005 vom 21.03.2005.**
- Heidemann, C.; Scheidt-Nave, C.; Richter, A.; Mensink, G. B. M.: Dietary patterns are associated with cardiometabolic risk factors in a representative study population of German adults. *British Journal of Nutrition* (2011), 106, 1253–1262.
- Hu, F. B. (2002): Dietary pattern analysis: a new direction in nutritional epidemiology. In: *Current Opinion in Lipidology* 13 (81): S. 3-9.
- Michels, K. B.; Schulze, M. B. (2005): Can dietary patterns help us detect diet-disease associations? In: *Nutrition Research Reviews* 18 (2): S. 241-248.
- Richter, A.; Heidemann, C.; Schulze, M. B.; Roosen, J.; Thiele, S.; Mensink, G. B. M. (2012): Dietary patterns of adolescents in Germany – Associations with nutrient intake and other health related lifestyle characteristics. In: *BMC Pediatrics* 23 (35).

## **Können Nahrungsfaktoren die Integrität unserer Haut schützen?**

Anika Wagner

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

Mit einer Oberfläche von bis zu 2 m<sup>2</sup> und einem Gewicht von ca. 3 kg (ohne Subcutis) ist die Haut das größte Organ des Menschen. Sie wird in drei Bereiche unterteilt: die Epidermis (Oberhaut), die Dermis (Lederhaut) und die Subcutis (Unterhaut). Die Epidermis setzt sich aus einem verhornten, mehrschichtigen Plattenepithel zusammen, in dem sich hauptsächlich Keratinozyten und Melanozyten befinden. Die Dermis ist das bindegewebige Gerüst der Haut, wo vor allem Kollagenfasern und Fibroblasten zu finden sind. Die Subcutis besteht aus lockerem Bindegewebe und stellt eine Verschiebeschicht dar. Die Haut schützt den Körper vor Austrocknung, dem Eindringen von körperfremden Substanzen sowie vor Verletzungen und schirmt durch die Produktion von Melanin die für den Menschen schädliche Ultraviolette (UV) Strahlung ab. Über verschiedene Sensoren wie beispielsweise den Tastsinn steht die Haut permanent in Kontakt mit ihrer Umgebung. Sie vermittelt außerdem durch ihre Antigenpräsentierenden Zellen, den Langerhans-Zellen und den Lymphozyten, einen immunologischen Schutz. Weiterhin wird durch Einwirkung von UV-Strahlen in der Epidermis Vitamin D produziert. Durch Schweißdrüsen, Blutgefäße und Fettgewebe ist die Haut außerdem an der Wärmeregulation des Organismus beteiligt.

UV-Strahlen sind ein primärer inflammatorischer Stimulus für die Haut. Es handelt sich um eine elektromagnetische Strahlung, die für das menschliche Auge unsichtbar ist. Die natürliche Quelle für das UV-Licht ist das Sonnenlicht. Es wird in der Atmosphäre und hier in der Ozonschicht gefiltert, so dass auf der Erdoberfläche vor allem UVA- (90%) und UVB- (10%) Strahlen auftreffen. Während UVA-Strahlung langwellig (315-380 nm) ist und tief in die Dermis eindringen kann, ist die UVB-Strahlung kurzwellig (280-315 nm) und penetriert die Haut maximal bis zur oberen Dermis (Abb.1). Die beiden unterschiedlichen UV-Strahlen vermitteln auch unterschiedliche Effekte auf die Haut. So führt UVA-Strahlung aufgrund einer Konformationsänderung des Melanins zu einer kurzfristigen Bräunung der Haut. Durch ihren langwelligen Charakter dringt die UVA-Strahlung tief in die Haut ein und führt in der Dermis zu einer Schädli-

gung der Kollagene, wodurch ein Verlust der Spannkraft hervorgerufen wird und es dadurch zu einer vorzeitigen Hautalterung kommen kann. Eine verstärkte Exposition gegenüber UVA-Strahlung begünstigt die Entstehung eines malignen Melanoms, dem schwarzen Hautkrebs. Dieser hochgradig bösartige Tumor bildet bereits in der frühen Phase Metastasen und ist deshalb die am häufigsten tödlich verlaufende Hautkrankheit. Der Hauptrisikofaktor für diesen Hautkrebs ist eine intensive Sonneneinstrahlung, wobei hier nicht die chronische Sonneneexposition, sondern die Anzahl der Sonnenbrand-Reaktionen im Kindes- und Jugendalter ausschlaggebend sind. Im Gegensatz zur UVA-Strahlung besitzt die UVB-Strahlung einen starken erythemem und damit sonnenbrand-auslösenden Effekt. Weiterhin führt eine Exposition gegenüber UVB-Strahlung zu einer langfristigen Bräunung aufgrund einer verzögerten Melaninbildung. In der Epidermis kommt es durch die UVB-Strahlung zur Bildung von Vitamin D. Auch eine verstärkte Exposition gegenüber UVB-Strahlen kann Hautkrebs auslösen und führt vor allem bei älteren Personen zur Entstehung von Basal- und Plattenepithelzellkarzinomen (sogenannter „weißer Hautkrebs“).

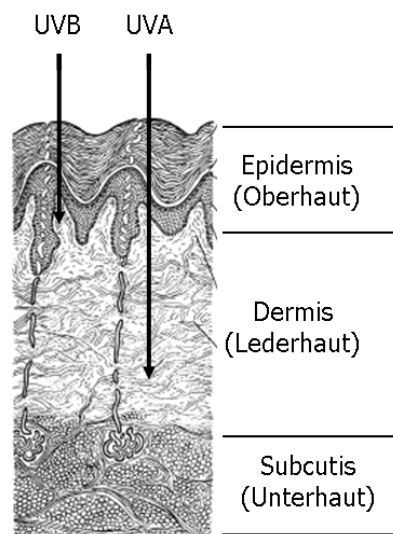


Abbildung 1: Aufbau der menschlichen Haut und Eindringtiefe von UVA- und UVB-Strahlen (nach Schiebler TH 2007; Elsner P et al. 2005).

Es gibt Ansätze, sekundäre Pflanzenstoffe topisch direkt auf die Haut aufzubringen oder oral über den Gastrointestinal-Trakt zu applizieren und so einen Hautschutz gegenüber schädlicher UV-Strahlung zu induzieren. Als potentiell einsetzbare Lebensmittel stehen hier Olivenöl, Grünteeextrakt aber auch Kohlgemüse im Fokus. In eigenen Untersuchungen haben wir uns mit den potentiell protektiven Effekten von Nahrungsfaktoren aus *Brassicaceae* beschäftigt.

Verschiedene epidemiologische Studien zeigen, dass ein erhöhter Konsum von *Brassica*-Gemüse mit einer niedrigeren Inzidenz für verschiedene Krebserkrankungen assoziiert ist (Benito E et al. 1990; Chyou PH et al. 1990; Bradlow HL et al. 1991, Grubbs CJ et al. 1995). Welche Substanzen diese Effekte vermitteln ist noch nicht vollständig geklärt, allerdings gibt es Hinweise, dass die in hohen Mengen in *Brassicaceae* vorkommenden Glucosinolate zumindest zum Teil diese Effekte vermitteln (Bonnesen C et al. 2001). Weiterhin zeigen Untersuchungen, dass das Isothiocyanat Sulforaphan möglicherweise auch anti-inflammatorische Effekte vermittelt. So fanden Yanaka und Mitarbeiter (Yanaka A et al. 2009), dass Broccoli Sprossen, die reich an Glucoraphanin, der Vorstufe von Sulforaphan, sind, die bakterielle Kolonisierung von *Helicobacter pylori* in Mäusen verhindern kann. Eine *Helicobacter pylori*-Infektion wird mit der Entstehung von Magenkrebs in Verbindung gebracht.

*Brassicaceae* sind Kreuzblütengewächse zu denen *Brassica olearceae* (Broccoli, Rotkohl, Weißkohl und Blumenkohl) und auch *Brassica rapa* (Chinakohl, PakChoi und Rübren) gehören. Auch Rettich, Kresse, Senf und Rucicola werden zu den *Brassicaceae* gezählt. In der intakten Pflanze liegen lediglich die Glucosinolate vor, die durch Einwirkung der Myrosinase zu Indolen oder Isothiocyanaten hydrolysiert werden können. Da die Myrosinase in den Chloroplasten und das Glucosinolat in der Vakuole lokalisiert sind, kommt es erst durch eine mechanische Zerstörung wie Kauen oder Schneiden zum Kontakt von Enzym und Substrat und damit zur Hydrolyse von Glucosinolaten zu Isothiocyanaten (Abb. 2). Je nach Reaktionsbedingungen (z.B. pH-Wert, Gegenwart von  $\text{Fe}^{2+}$ ) entsteht aus einem Glucosinolat ein Isothiocyanat, ein Nitril oder Thiocyanat.

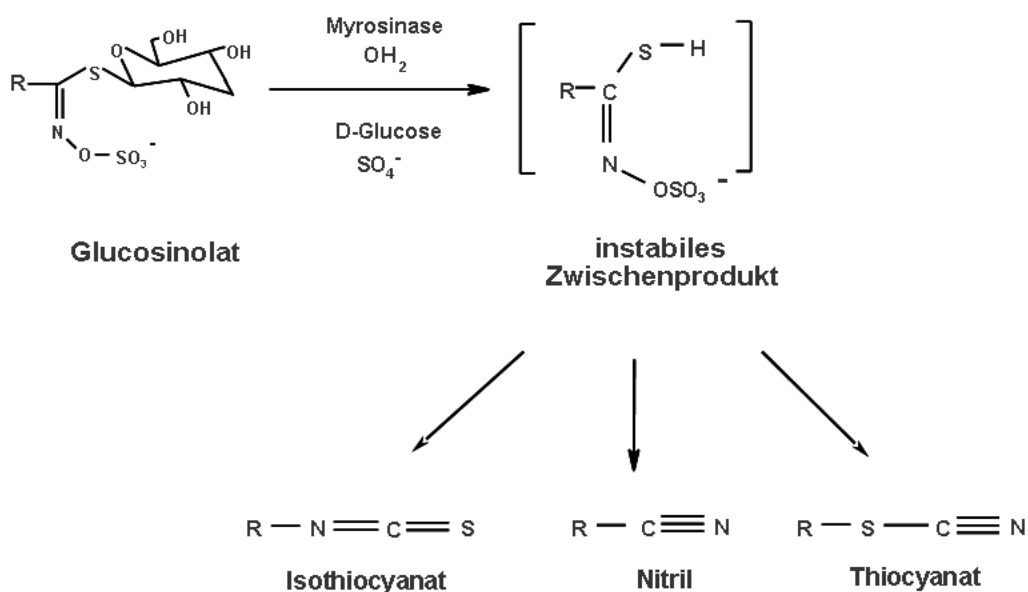
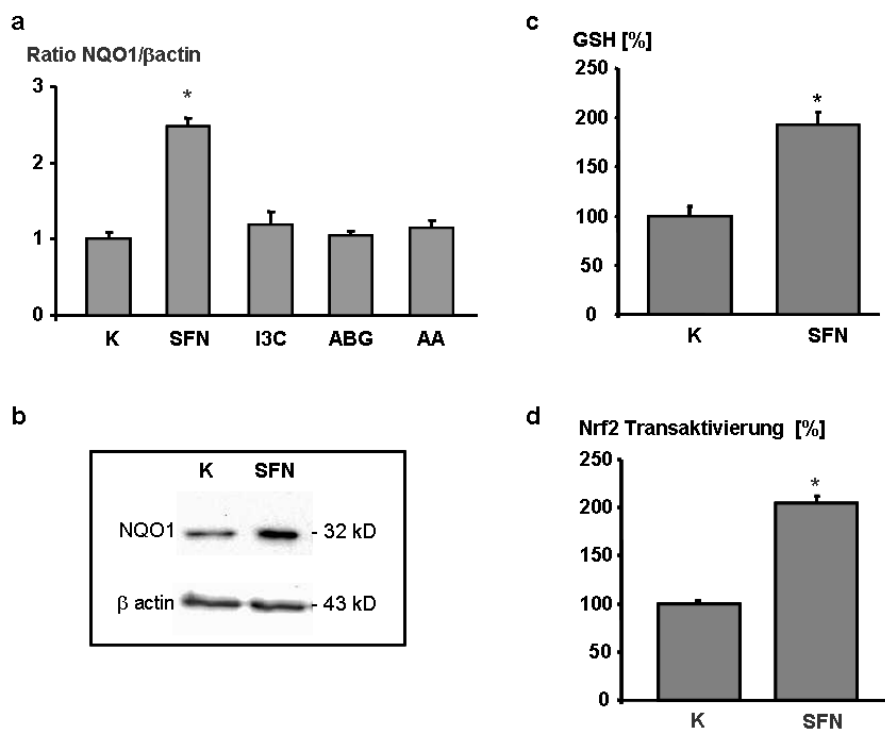


Abbildung 2: Reaktionsschema der Glucosinolat-Hydrolyse (nach Fahey JW et al. 2001)

Wie genau diese Substanzen ihre potentiell anti-inflammatorischen und anti-karzinogenen Effekte vermitteln ist noch nicht vollständig geklärt. Für das Isothiocyanat Sulforaphan wird postuliert, dass es zumindest teilweise seine Wirkungen über eine Induktion von Phase II- und antioxidativen Enzymen wie beispielsweise NADPH-Quinon-Oxidoreduktase 1 (NQO1), Hämoxxygenase 1 (HO-1) und  $\gamma$ -Glutamylcystein-Synthetase ( $\gamma$ GCS) vermittelt (Juge N et al. 2007). Die genannten Phase II- und antioxidativen Enzyme weisen in ihren Promoterregionen ein antioxidatives responsives Element (ARE) auf, an welches der Transkriptionsfaktor Nrf2 bindet und so die Expression der Phase II- und antioxidativen Enzyme induziert.

In eigenen Untersuchungen (Wagner AE et al. 2010) in der humanen Keratinozytenzelllinie HaCaT konnte gezeigt werden, dass die mRNA-Spiegel des Phase II-Enzyms NQO1 (Abb. 3a) sowie der antioxidativen Enzyme  $\gamma$ GCS und HO-1 nach einer Inkubation mit Sulforaphan signifikant induziert werden konnten, dieser Effekt jedoch durch eine Behandlung mit Indol-3-Carbinol (I3C) und Ascorbigen (ABG), beides Abbauprodukte des Glucosinolates Glucobrassicin, ausblieb. Ascorbinsäure diente als Kontrollsubstanz, da aus I3C in Gegenwart von Ascorbinsäure ABG entsteht. Auch auf Proteinebene konnte für das Phase II-Enzym NQO1 (Abb. 3b) wie auch für die antioxidativen Enzyme HO-1 und  $\gamma$ GCS im Westernblot eine signifikante Induktion in Gesamtzellextrakten aus HaCaT Keratinozyten, die mit Sulforaphan behandelt wurden, gezeigt werden. Außerdem wurden in HaCaT Zellysaten die Glutathionspiegel gemessen. Glutathion stellt ein wichtiges zelluläres Antioxidans im Organismus dar und wurde in mit Sulforaphan behandelten Zellen signifikant induziert (Abb. 3c). Auch in Reporterstudien zeigte sich, dass Sulforaphan in mit ARE-Luziferase-Konstrukt transfizierten HaCaT Keratinozyten zu einer signifikanten Induktion der Nrf2 Transaktivierung führte (Abb. 3d).





*Abbildung 3:* Einfluss verschiedener Testsubstanzen aus Kohlgemüse auf die NADPH-Quinon-Oxidoreduktase 1 (NQO1) mRNA- (a) und Proteinspiegel (b), Glutathion (GSH) (c) und Transaktivierung von Nrf2 (d) in HaCaT Keratinozyten. Dargestellt sind die Mittelwerte  $\pm$  SEM aus drei unabhängigen Versuchen; \* kennzeichnet statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrolle und Behandlung.(K Kontrolle, SFN Sulforaphan, I3C Indol-3-Carbinol, ABG Ascorbigen, AA Ascorbinsäure). (Wagner AE et al. 2010).

Um festzustellen, ob Sulforaphan auch anti-inflammatorische Effekte in HaCaT Keratinozyten vermittelt, wurden die Zellen mit einem  $\kappa$ B-Luziferase-Konstrukt transfiziert. Der Transkriptionsfaktor NF $\kappa$ B spielt in der Regulation einer Entzündung im Organismus eine zentrale Rolle und initiiert durch Bindung an eine  $\kappa$ B Site die Transkription der Zielgene. Zur Simulation einer Entzündung wurden die Zellen mit dem Tumor-Nekrose-Faktor  $\alpha$  (TNF $\alpha$ ), einem proinflammatorischen Zytokin, behandelt. Eine gleichzeitige dosisabhängige Applikation von Glucoraphanin, der Vorstufe von Sulforaphan, zeigte keinen hemmenden Effekt auf die NF $\kappa$ B-Transaktivierung, während Sulforaphan einen dosisabhängigen hemmenden Effekt aufwies (Abb. 4).

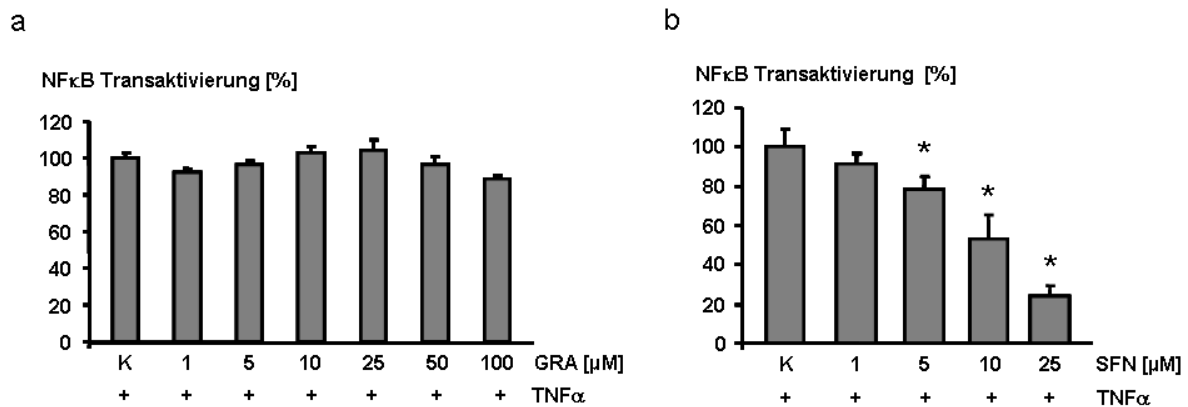


Abbildung 4: Einfluss von Glucoraphanin (GRA) (a) und Sulforaphan (SFN) (b) auf die durch eine Behandlung mit Tumor-Nekrose-Faktor  $\alpha$  ( $\text{TNF}\alpha$ ) hervorgerufene Transaktivierung von  $\text{NF}\kappa\text{B}$ . Dargestellt sind die Mittelwerte  $\pm$  SEM aus drei unabhängigen Versuchen; \* kennzeichnet statistisch signifikante Unterschiede zwischen der  $\text{TNF}\alpha$ -behandelten Kontrolle und den mit Testsubstanzen behandelten Zellen. (Wagner AE et al. 2010).

## Zusammenfassung

Es gibt Hinweise, dass bestimmte Nahrungsfaktoren unsere Haut schützen können. In den vorgestellten Untersuchungen in kultivierten humanen Keratinozyten konnte für Sulforaphan eine chemoprotektive und anti-inflammatorische Wirkung gezeigt werden. Allerdings bleibt zu prüfen, ob und inwieweit dieser Effekt auch unter Einwirkung von UV-Strahlung und unter *in vivo* Bedingungen erzielt werden kann.

## Literatur

- Benito E, Obrador A, Stiggelbout A, Bosch FX, Mulet M, Munoz N, Kaldor J: A population-based case-control study of colorectal cancer in majorca. I. Dietary factors. *Int J Cancer* 1990;45:69-76.
- Bradlow HL, Michnovicz J, Telang NT, Osborne MP: Effects of dietary indole-3-carbinol on estradiol metabolism and spontaneous mammary tumors in mice. *Carcinogenesis* 1991;12:1571-1574.
- Bonnesen C, Eggleston IM, Hayes JD: Dietary indoles and isothiocyanates that are generated from cruciferous vegetables can both stimulate apoptosis and confer protection against DNA damage in human colon cell lines. *Cancer Res* 2001;61:6120-6130.
- Camhi S L, Alam J, Otterbein L, Sylvester S L, Choi A M. Induction of heme oxygenase-1 gene expression by lipopolysaccharide is mediated by AP-1 activation. *Am J Resp Cell Respir Mol Cell Biol* 1995; 13: 387-398.
- Chyou PH, Nomura AM, Hankin JH, Stemmermann GN: A case-cohort study of diet and stomach cancer. *Cancer Res* 1990;50:7501-7504.
- Elsner P, Hölzle E, Diepgen T, Grether-Beck S, Hönigsmann H, Krutmann J, Scharffetter-Kochanek K, Schwarz T, Luger T: Täglicher Lichtschutz in der Prävention chronischer

- UV-Schäden der Haut. Konsensus-Konferenz. 2005; 11: 1-9. Klinik und Poliklinik für Dermatologie der LMU.
- Grubbs CJ, Steele VE, Casebolt T, Juliana MM, Eto I, Whitaker LM, Dragnev KH, Kelloff GJ, Lubet RL: Chemoprevention of chemically-induced mammary carcinogenesis by indole-3-carbinol. *Anticancer Res* 1995;15:709-716.
- Juge N, Mithen RF, Traka M: Molecular basis for chemoprevention by sulforaphane: a comprehensive review. *Cell Mol Life Sci* 2007; 64; 1105-1127.
- Presterla T, Talalay P. Electrophile and antioxidant regulation of enzymes that detoxify carcinogens. *Proc Natl Acad Sci USA* 1995; 92: 8965-8969.
- Schiebler, TH: Anatomie. Steinkopff Verlag, 10. Auflage, 2007, S. 154.
- Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P: The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* 2001; 56: 5-51.
- Venugopal R, Jaiswal A K. Nrf1 and Nrf2 positively and c-Fos and Fra1 negatively regulate the human antioxidant response element-mediated expression of NAD(P)H:quinone oxidoreductase1 gene. *Proc Natl Acad Sci USA* 1996; 93: 14960-14965.
- Wagner AE, Ernst I, Iori R, Desel C, Rimbach G: Sulforaphane but not ascorbigen, indole-3-carbinole and ascorbic acid activates the transcription factor Nrf2 and induces phase-2 and antioxidant enzymes in human keratinocytes in culture. *Exp Dermatol* 2010; 2; 137-144.
- Yanaka A, Fahey JW, Fukumoto A, Nakayama M, Inoue S, Zhang S, Tauchi M, Suzuki H, Hyodo I, Yamamoto M: Dietary sulforaphane-rich broccoli sprouts reduce colonization and attenuate gastritis in *Helicobacter pylori*-infected mice and humans. *Cancer Prev Res* 2009; 2; 353-3560.

# **Biogas als Preistreiber am Pacht- und Bodenmarkt? Empirische Analysen für Schleswig-Holstein und Niedersachsen**

Uwe Latacz-Lohmann

Institut für Agrarökonomie  
Landwirtschaftliche Betriebslehre und Produktionsökonomie

## **Einleitung**

Die Förderung erneuerbarer Energien aus Biomasse im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) hat zahlreiche Landwirte in die Biogasproduktion investieren lassen. Besonders die EEG-Novellen der Jahre 2004 und 2009 setzten durch eine hohe Grundvergütung mit zusätzlich attraktiven Boni für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe sowie den 2009 eingeführten Güllebonus starke Anreize für Investitionen in landwirtschaftliche Biogasanlagen. Der hohe Flächenbedarf zur Bereitstellung des Gärsubstrates für diese Anlagen hat nach weit verbreiteter Auffassung zu einer Intensivierung des Pachtflächenwettbewerbs in der Landwirtschaft geführt (BERENZ et al., 2008; SIEGMUND, 2012; EMMANN und THEUVSEN, 2012). Betreibern von Biogasanlagen werden in Modellrechnungen dabei vergleichsweise hohe Zahlungsbereitschaften zugeschrieben (BRAUN et al., 2010; (RAUH, 2010; HABERMANN und BREUSTEDT, 2011; EMMANN und THEUVSEN, 2012). Als dessen Folge deuten sowohl die ökonomische Theorie als auch empirische Befunde darauf hin, dass die Förderung der Bioenergieproduktion bei regional hoher Dichte von Biogasanlagen zu einem Preisanstieg auf den landwirtschaftlichen Pachtmärkten geführt hat (HABERMANN und BREUSTEDT, 2011). Demnach werden die Fördergelder zu einem gewissen Grad auf die Pachtpreise landwirtschaftlicher Nutzflächen überwälzt und führen damit im Wettbewerb um den knappen Faktor Boden zu politisch verursachten Verzerrungen der Konkurrenzfähigkeit konkurrierender Betriebszweige. Seit längerem werden deshalb Verdrängungseffekte und Entwicklungshemmnisse insbesondere für Vieh haltende Betriebe diskutiert (BERENZ et al., 2008). Marktbeobachtungen deuten inzwischen darauf hin, dass die Biogasproduktion gerade in Regionen mit intensiver Viehhaltung zu Preissteigerungen am Pachtmarkt geführt hat (SIEGMUND, 2012; EMMANN et al., 2010). Diese Wechselwirkung zwischen Biogaserzeugung und Viehhaltung wurde auf der Basis empirischer Pachtpreisdaten bislang jedoch noch nicht explizit untersucht und belegt. Der vorliegende Beitrag zielt deshalb darauf ab, die komplementäre

Wirkung von Biogaserzeugung und Viehhaltung auf den Pachtmarkt mittels einer räumlich-ökonomischen Analyse zu prüfen.

### **Methodik und Datengrundlage**

Das erste Gesetz der Geografie von Tobler besagt, dass Ereignisse, die räumlich näher beieinander liegen, in der Regel stärker miteinander korrelieren als Ereignisse, die räumlich weiter auseinander liegen (TOBLER, 1970). Angefangen mit dem Beitrag von BENIRSCHKA UND BINKLEY (1994), der die Bodenpreisentwicklung in den USA unter Berücksichtigung raumstruktureller Aspekte analysiert, ist die Anwendung räumlich-ökonomischer Schätzverfahren in Boden- und Pachtpreisstudien inzwischen weit verbreitet. Methoden der räumlichen Ökonometrie berücksichtigen vorliegende räumliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Beobachtungseinheiten (einzelne Betriebe oder auch kleinstrukturierte Regionen). Auf Boden- und Pachtmärkten ist in hohem Ausmaß von räumlichen Interaktionen auszugehen, da Landwirte mit ihren jeweiligen Zahlungsbereitschaften in einem bestimmten Umkreis um ihre Betriebsstätte als potenzielle Käufer bzw. Pächter auftreten und über den Bieterprozess sowohl die Kauf- und Pachtpreisvereinbarungen benachbarter Betriebe als auch das Kauf- und Pachtpreisniveau benachbarter Gemeinden beeinflussen. In der Folge sind die Preisbeobachtungen benachbarter Beobachtungseinheiten nicht unabhängig voneinander, sondern weisen ein räumliches Muster auf. Eine Vernachlässigung dieser räumlichen Interdependenzen führt zu verzerrten und inkonsistenten Parameterschätzern in gewöhnlichen Ordinary-Least-Square(OLS)-Schätzungen (ANSELIN, 1988: 58f.; ANSELIN und BERA, 1998). Aus dem Instrumentarium der räumlichen Ökonometrie lassen sich in solchen Fällen sogenannte Spatial-Lag-Modelle anwenden, die die räumliche Autokorrelation der zu erklärenden Variablen (hier der Ackerpachtpreise) nicht nur explizit berücksichtigen, sondern auch eine quantitative Abschätzung der Nachbarschaftseffekte ermöglichen. Darüber hinaus ist auch eine räumlich heterogene Struktur unbeobachteter Einflussfaktoren für die Anwendung von OLS-Schätzungen problematisch, da in diesem Fall der Fehlerterm der Schätzmodelle räumliche Strukturen aufweist. Konkret bedeutet dies, dass die Kovarianz der Residuen benachbarter Beobachtungen ungleich Null ist, was zwar nicht zu verzerrten, aber ineffizienten OLS-Schätzern führt (ANSELIN, 1988: 59; ANSELIN und BERA, 1998). Die Anwendung sogenannter Spatial-Error-Modelle erlaubt die Berücksichtigung räumlicher Abhängigkeiten der Residuen und ermöglicht damit eine effiziente Schätzung der Modellparameter. In Pachtmarktanalysen können z.B. auf regionaler Ebene nicht oder nur schwer zu beobachtende Wettereinflüsse, regionale Besonderheiten der Produktionsstrukturen oder Unterschiede in der regionalen Infrastruktur eine räumliche Autokorrelation der Residuen hervorrufen. Bei

gleichzeitigem Vorliegen räumlicher Abhängigkeiten sowohl im Fehlerterm als auch in der zu erklärenden Variablen ermöglicht die Formulierung Allgemeiner Räumlicher Modelle – eine Kombination aus Spatial-Lag- und Spatial-Error-Modellen – die Schätzung erwartungstreuer und effizienter Parameterschätzer (LESAGE und PACE, 2009).

Die für die Analyse verwendeten Daten zur Höhe des regionalen Pachtpreisniveaus basieren auf dem Datenmaterial aus der Landwirtschaftszählung 2010. In der Erhebung wurden alle (oberhalb der Erfassungsgrenze wirtschaftenden) Betriebe auch zu ihren Pachtflächen und Pachtentgelten befragt. Für die Analyse werden die Angaben der niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Betriebe zur Pachtung von Acker- und Grünland von nicht verwandten und nicht verschwägerten Verpächtern als Grundlage für die Berechnung gemeindedurchschnittlicher Pachtpreise verwendet. Die Aggregation der Daten auf Gemeindeebene ist erforderlich, da eine Analyse einzelbetrieblicher Beobachtungen aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht möglich war. An den regionalisierten Datensatz werden für die Analyse ergänzend weitere Merkmale (z.B. Ackerzahl, Bevölkerungsdichte) aus externen Datenquellen angefügt. Da auf die breite Datenbasis der in der Vollerhebung erfassten Pachtpreisdaten zurückgegriffen wird, handelt es sich bei den analysierten Pachtpreisdaten um Bestandspachten. Die gemeindedurchschnittlichen Bestandspachten bilden die durchschnittlichen Pachtpreise aller zum Erhebungszeitpunkt laufenden Pachtverträge der ortsansässigen Betriebe<sup>2</sup> in den jeweiligen Gemeinden Niedersachsens und Schleswig-Holsteins ab. Daten zur Biogasdichte stammen von den Landesagrarministerien (ML und MELUR). Hier ist die niedrigste Auflösung jedoch die Landkreisebene, da die schleswig-holsteinischen Daten keine Zuordnung auf Gemeindeneiveau ermöglichen.

## **Ergebnisse**

Der Rohdatensatz für die Bestandspachtpreisbeobachtungen enthält 2 080 Gemeinden. Im Mittel werden in den norddeutschen Gemeinden 303 Euro je ha Ackerfläche (AF) gezahlt, das regionale Pachtpreisniveau für Dauergrünland (DGL) liegt im Durchschnitt der Gemeinden bei gut 196 Euro je ha. Die beobachteten Preise werden durch die regionale Dichte der Biogaserzeugung, die regionale Viehdichte, die durchschnittliche Ertragsfähigkeit der Flächen sowie weitere Merkmale erklärt, die als Indikatoren der Bodenrente und der lokalen

---

<sup>2</sup> Die geografische Zuordnung der Betriebsdaten in der LZ erfolgt nach dem Betriebsprinzip. Damit werden alle Flächen eines Betriebes mit den dazugehörigen Pachtentgelten unabhängig von ihrer physischen Belegenheit der Gemeinde des Hauptsitzes eines Betriebes zugeordnet (Statistisches Bundesamt, 2011: 8).

Wettbewerbsintensität am Pachtmarkt dienen. Die mittlere installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen beträgt im Untersuchungsgebiet  $0,27 \text{ kW}_{\text{el}}$  je ha LF, was einer  $500 \text{ kW}_{\text{el}}$ -BGA je  $1\,850 \text{ ha}$  LF entspricht. Der durchschnittliche regionale Tierbesatz liegt in etwa bei einer GVE je ha LF. Die Auswirkung der Kopplung von Tierhaltungsdichte und Biogaserzeugung wird durch die Aufnahme eines Interaktionstermes beider Variablen untersucht. Die Bodengüte wird durch die mittlere Ertragsmesszahl der Gemeinden wiedergegeben. Sie liegt im Durchschnitt bei gut 43.

Die geschätzten Regressionskoeffizienten des Pachtpreismodells weisen die erwarteten Vorzeichen auf. Der Schätzkoeffizient  $\rho$  für den spatial lag erweist sich als hoch signifikant. Damit beeinflussen sich die Pachtpreise benachbarter Gemeinden systematisch gegenseitig. Die Preistransmission bei einer Steigerung des durchschnittlichen Pachtpreises der Nachbargemeinden um einen Euro je ha wird dabei gemäß dem Schätzkoeffizienten auf durchschnittlich 81 Cent für Ackerpachten geschätzt. Aufgrund dieses räumlichen Prozesses können die Schätzparameter für die exogenen Variablen nicht direkt als marginale Effekte interpretiert werden. Vielmehr muss berücksichtigt werden, dass der Pachtpreiseffekt einer Variablenänderung in einer Gemeinde auch die Pachten der Nachbargemeinden tangiert und umgekehrt. Der Gesamteffekt setzt sich aus dem direkten, lokalen Effekt und dem indirekten, überregionalen Effekt zusammen. Tabelle 1 bildet die Komponenten der marginalen monetären Preisänderungen durch die einzelnen Merkmale für die Ackerpachten ab.

**Tabelle 1: Durchschnittliche direkte, indirekte und totale Effekte der Einflussvariablen auf die Pachtpreise von Ackerland**

Exogene Variable	Direkter Effekt	P> z  <sup>1</sup>	Indirekter Effekt	P> z  <sup>1</sup>	Totaler Effekt	P> z  <sup>1</sup>
Biogasdichte	-4,26	0,858	-15,73	0,856	-19,99	0,856
Viehichte	16,69	0,002	61,64	0,007	78,33	0,005
Interact	31,64	0,053	116,82	0,031	148,46	0,033
EMZ	0,35	0,031	1,29	0,034	1,64	0,031
WW_Anteil	7,35	0,000	27,12	0,000	34,46	0,000
Hackfrüchte_Anteil	12,28	0,000	45,33	0,000	57,60	0,000
Sonderkulturen_Anteil	25,01	0,000	92,35	0,000	117,37	0,000
Brache_Anteil	-6,94	0,421	-25,64	0,420	-32,58	0,420
Beregnung_Anteil	-0,51	0,222	-1,87	0,224	-2,38	0,222
Betriebsgröße	0,12	0,014	0,46	0,031	0,58	0,025
Nebenerwerb_Anteil	-4,80	0,000	-17,73	0,000	-22,53	0,000
HHI_Pachtmarkt	-5,97	0,436	-22,03	0,441	-27,99	0,439
Einwohnerdichte	-0,01	0,594	-0,02	0,596	-0,03	0,595

<sup>1</sup> Zugrundeliegende Standardfehler basieren auf der Delta-Methode.

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Landwirtschaftszählung 2010, eigene Berechnungen.

Für die Interpretation der Schätzergebnisse liefern die durchschnittlichen direkten marginalen Effekte den größten Praxisbezug: Sie repräsentieren die durchschnittlichen lokalen Pachtpreiseffekte in einer Gemeinde, die infolge einer lokalen marginalen Änderung des jeweiligen Einflussfaktors eintritt. Allerdings sind die Schätzkoeffizienten für die Wirkung der Biogas- und Viehdichte aufgrund der Interaktionsvariablen nicht als unabhängige marginale Effekte zu interpretieren, denn sie zeigen lediglich den bedingten marginalen Effekt, wenn der Wert der jeweils anderen (verknüpften) Variablen bei null liegt (BRAMBOR et al., 2006). Demgemäß ist unmittelbar aus den Schätzergebnissen zunächst einmal ersichtlich, dass die regionale Viehdichte auch in Regionen ohne Biogaserzeugung einen signifikanten Einfluss auf das Ackerpachtpreinsniveau ausübt. Hier ist gemäß dem Schätzkoeffizienten bei einer gemeindeindividuellen Zunahme der Viehdichte um eine GVE je ha innerhalb der betreffenden Gemeinde unter sonst gleichen Bedingungen mit einem (direkten) lokalen Pachtpreisauftrieb in Höhe von durchschnittlich knapp 17,- Euro je ha zu rechnen. Die Auswirkung dieser Änderung auf die gemeindedurchschnittlichen Pachtpreinsniveaus benachbarter Gemeinden wird durchschnittlich in der Summe auf etwa 60,- Euro geschätzt (siehe Spalte der durchschnittlichen indirekten Effekte).



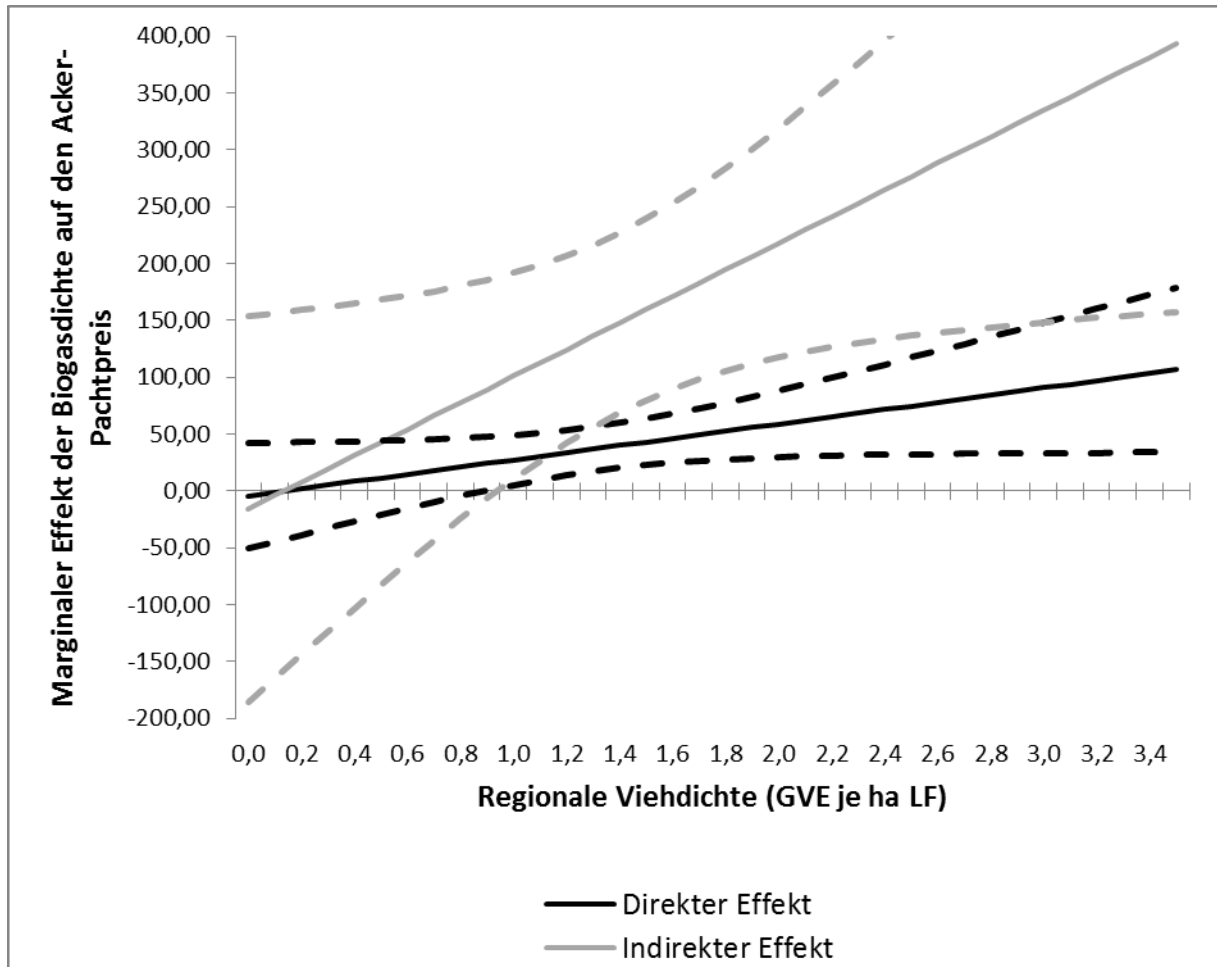
te). Dagegen wäre unter der wenig praxisrelevanten Prämisse einer regionalen Viehdichte von null GVE je ha kein signifikanter Einfluss der Biogasdichte auf die Pachtpreise gegeben. Im Interaktionsterm zeigt sich jedoch eine komplementäre Wirkung der Biogasdichte mit der regionalen Viehdichte, so dass je nach Umfang der Viehhaltung in der Region durchaus eine potenziell pachtpreissteigernde Wirkung von einer zunehmenden Biogasdichte ausgeht. Im Intervall der empirisch beobachteten Viehdichten ist der Einfluss der Biogasdichte in Abbildung 1 graphisch dargestellt. Den eingezeichneten Konfidenzintervallen liegen mittels Delta-Methode berechnete Standardfehler zugrunde.

Die dargestellten Schätzergebnisse für den durchschnittlichen Pachtpreiseffekt der Biogasdichte bei unterschiedlichen regionalen Viehdichten bekräftigt die Hypothese, dass sich die Biogaserzeugung nur in viehstarken Regionen signifikant auf den Ackerpachtpreis auswirkt: Den eingezeichneten Konfidenzintervallen ist zu entnehmen, dass der Pachtpreisaufrtrieb erst bei einer regional vorherrschenden Viehdichte von rund einer GVE je ha LF nachweisbar ist. Hier wird der Effekt einer lokalen Zunahme der Biogasdichte um eine  $kW_{el}$  je ha LF in etwa auf 30,- Euro je ha geschätzt. Bei höheren regionalen Viehdichten sind die geschätzten Auswirkungen jedoch deutlich höher. In Regionen mit intensiver Viehhaltung (3,5 GVE/ha LF) beläuft sich die geschätzte marginale Pachtsteigerung sogar auf rund 100,- Euro je ha. Die indirekten Effekte auf das durchschnittliche Pachtpreisniveau in den umliegenden Gemeinden summieren sich in diesem Fall auf knapp 400,- Euro. Für die im Durchschnitt beobachtete Viehdichte von einer GVE/ha LF betragen die indirekten Effekte in der Summe über alle übrigen Gemeinden den Schätzergebnissen zufolge etwa 100,- Euro. Ebendiese Pachtpreissteigerung wäre durchschnittlich – zusätzlich zu den direkten Effekten – auch für das lokale Pachtpreisniveau in einer Gemeinde zu erwarten, wenn sich die Biogasdichte im gesamten Untersuchungsgebiet um eine  $kW_{el}$  je ha LF erhöht.

Die Schätzergebnisse für die übrigen Pachtpreisdeterminanten unterstreichen den Einfluss der (anhand der EMZ und des Anteils deckungsbeitragsstarker Kulturen gemessenen) Bodenrente auf die durchschnittlichen Gemeindepachten. Je zusätzlichem EMZ-Punkt werden in einer Gemeinde lokal durchschnittlich 35 Euro-Cent mehr Pacht gezahlt. 10 Prozentpunkte mehr Winterweizenanbau in einer Gemeinde schlagen mit 7,35 Euro/ha höheren Ackerpachten zu Buche und marginale Anbausteigerungen (um 10 Prozentpunkte) bei den deckungsbeitragsstarken Hackfrüchten und Sonderkulturen steigern die örtlichen Ackerpachten um 12 bzw. 25 Euro/ha. Wechseln weitere 10 Prozent der örtlichen Betriebsleiter mit ihren Höfen in die Nebenerwerbslandwirtschaft, entlastet dies die mittlere Ackerpacht der Betriebe einer Gemeinde um gut 5 Euro/ha. Jeder zusätzliche Hektar an durchschnittlicher Flächenausstattung bei den Acker

pachtenden Betrieben einer Gemeinde bringt dagegen lokal einen marginalen Pachtanstieg um 12 Euro-Cent je ha mit sich.

**Abbildung 1: Marginale Effekte der Biogasdichte auf die Ackerpachtpreise in Abhängigkeit der regionalen Viehdichte.**



Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Landwirtschaftszählung 2010, eigene Darstellung.

## Fazit

Bereits ein Blick auf die mit der Biogaserzeugung erzielbaren Bodenrenten bestärkt die landläufige Vermutung, Biogasanlagenbetreiber würden einen Teil ihrer hohen Wertschöpfung auf die Substratanbaufläche umlegen, indem sie höhere Pachtpreisgebote formulieren. Diese Vermutung erhält in früheren empirischen Studien zum Einfluss der Biogasproduktion auf Pachtpreise bereits Bestätigung (HABERMANN und BREUSTEDT, 2011; EMMANN und THEUVSEN, 2012). Auch die vorliegende Analyse gemeindedurchschnittlicher Pachtpreise der 2010 in Schleswig-Holstein und Niedersachsen laufenden Pachtungen von Ackerland belegt, dass von der Biogaserzeugung eine potentiell preistreibende Wirkung ausgeht. Allerdings zeigen die Ergebnisse, dass es zumindest in Norddeutschland erst im Zusammenspiel mit der lokalen Wettbewerbssituation zu biogasinduzierten Preissteigerungen am Pachtmarkt kommt: Dort, wo der Wettbewerb um Pachtflächen wie im Falle hoher Viehdichten besonders intensiv ist, schlagen die hohen Deckungsbeiträge der Substratproduktion für Biogasanlagen signifikant auf das regionale Pachtpreisniveau durch. Dies deckt sich mit Befragungsergebnissen von EMMANN et al. (2010), wonach Biogasanlagen von befragten Landwirten vor allem in viehstarken Regionen für Preissteigerungen am Pachtmarkt verantwortlich gemacht werden.

In den Modellschätzungen treten signifikante Pachtpreissteigerungen für Ackerland erst ab einer regionalen Viehdichte von einer GVE je ha auf, wobei die Auswirkungen bei darüber hinaus gehenden Viehdichten deutlich zunehmen. Die direkten Effekte einer Erhöhung der Biogasdichte um eine  $\text{kW}_{\text{el}}/\text{ha}$  auf Landkreisebene werden im Bereich von einer bis 3,5 GVE je ha LF auf 30,- bis 100,- Euro je ha geschätzt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Biogasdichte im Durchschnitt Niedersachsens und Schleswig-Holsteins bei lediglich  $0,27 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{je ha LF}$  liegt, so dass eine Steigerung der Biogasdichte um eine  $\text{kW}_{\text{el}}$  bereits einen drastischen Anlagenzubau darstellen würde. Selbst in Regionen mit einer vergleichsweise hohen Biogasdichte von rund  $0,5 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{je ha LF}$ , wie sie in einzelnen Landkreisen in Schleswig-Holstein und Niedersachsen beobachtet wurde, kann die Biogasproduktion von den beobachteten Pachtpreisen je nach Umfang der Viehhaltung also nur 15,- bis 50,- Euro je ha erklären.

Hierbei werden allerdings die indirekten Effekte vernachlässigt, die als Spillover-Effekte in einer Gemeinde infolge des biogasinduzierten Pachtpreisauftriebs in allen übrigen Gemeinden auftreten. Diese sind anhand der Schätzergebnisse jedoch nur unter sehr starken Annahmen zu quantifizieren: Werden hypothetisch für alle übrigen Gemeinden der durchschnittliche Tierbesatz von rund einer GVE/ha LF und die durchschnittliche Biogasdichte von rund  $0,3 \text{ kW}_{\text{el}}/\text{je ha LF}$  angenommen, errechnen sich daraus für das Pachtpreisniveau in einer Gemeinde geschätzte indirekte Effekte der Biogaserzeugung von etwa 30,- Euro je

ha (indirekter Effekt der Biogasdichte in Höhe von rund 100,- Euro je ha bei einer GVE/ha gemäß Abbildung 1 multipliziert mit der durchschnittlichen Biogasdichte). In der Summe der direkten und indirekten Effekte würde sich daraus in viehstarken Gemeinden ab einer GV/ha ein geschätzter totaler Effekt der Biogaserzeugung von etwa 45,- bis 80,- Euro je ha ergeben.

Auch wenn diese Werte aufgrund der restriktiven Annahmen mit Vorsicht zu interpretieren sind, scheinen die Effekte der Biogasproduktion für die gemeindedurchschnittlichen Bestandspachten noch eher moderat auszufallen. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass sich das Niveau der Bestandspachten bei mehrjährigen Pachtvertragslaufzeiten nur verzögert an Veränderungen der Produktionsstrukturen anpasst. Wird von einer Pachtvertragslaufzeit von 7 Jahren ausgegangen, wie sie im Durchschnitt auf Basis einer Betriebsleiterbefragung von HENNIG et al. (2015) ermittelt wurde, ist zum Erhebungszeitpunkt 2010 nur ein Teil der Pachtverträge während des erst 2004 beginnenden Biogasbooms neu verhandelt worden. Insbesondere der massive Anlagenzubau unter dem EEG 2009 wird sich in den analysierten Bestandspachten noch kaum niedergeschlagen haben. Im Hinblick auf jüngere Pachtpreisvereinbarungen werden die Effekte der Biogasproduktion in der vorgelegten Analyse von Bestandspachten damit vermutlich deutlich unterschätzt.

Trotz der diskutierten Einschränkungen konnte mit den präsentierten Analysen gezeigt werden, dass der Pachtmarkt für Ackerland in Norddeutschland von der politisch geförderten Biogasproduktion beeinflusst wird, wobei sich aber eine signifikante pachtpreistreibende Wirkung erst bei regional hoher Wettbewerbsintensität durch hohe Viehdichten entfaltet.

## Literatur

ANSELIN, L. (1988): *Spatial Econometrics. Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht [u.a.].

ANSELIN, L. und A.K. BERA (1998): *Spatial Dependence in Linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics*. In: A. Ullah et al. (Hrsg.): *Handbook of Applied Economic Statistics*. Marcel Dekker, New York: 237–289.

BENIRSCHKA, M. und J.K. BINKLEY (1994): *Land Price Volatility in a Geographically Dispersed Market*. In: *American Journal of Agricultural Economics* 76 (2): 185–195.

BERENZ, S., H. HOFFMANN und H. PAHL (2008): *Konkurrenzbeziehungen zwischen der Biogaserzeugung und der tierischen Produktion*. In: T. Glebe et al. (Hrsg.): *Agrar- und Ernährungswirtschaft im Umbruch. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 43*. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 497–506.

BRAMBOR, T., W.R. CLARK und M. GOLDBERGER (2006): *Understanding interaction models: Improving empirical analyses*. In: *Political Analysis* 14 (1): 63–82.

BRAUN, J., W. LORLEBERG und H. WACUP (2010): *Regionale Struktur- und Einkommenswirkungen der Biogasproduktion in NRW*. Fachhochschule Südwestfalen (Hrsg.). Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest Nr. 24, Soest.

- BREUSTEDT, G. und H. HABERMANN (2011): The Incidence of EU Per-hectare Payments on Farmland Rental Rates. A Spatial Econometric Analysis for German Farm-level Data. In: *Journal of Agricultural Economics* 62 (1): 225–243.
- EMMANN, C., C. PLUMEYER und L. THEUVSEN (2010): Einfluss der Biogasproduktion auf den Landpachtmarkt in Niedersachsen. In: *Österreichische Gesellschaft für Agrarökonomie* (Hrsg.): *ÖGA-Tagungsband 2010*: 59–60.
- EMMANN, C.H. und L. THEUVSEN (2012): Einfluss der Biogasproduktion auf den regionalen Pachtmarkt. Empirische Erhebung in fünf niedersächsischen Landkreisen mit hoher Anlagendichte. In: *Berichte über Landwirtschaft* 90 (1): 84–112.
- HABERMANN, H. und G. BREUSTEDT (2011): Einfluss der Biogaserzeugung auf landwirtschaftliche Pachtpreise in Deutschland. In: *German Journal of Agricultural Economics* 60 (2): 85–100.
- HENNIG, S., G. BREUSTEDT und U. LATACZ-LOHMANN (2015): Zum Einfluss mitgehandelter Zahlungsansprüche auf die Kauf- und Pachtpreise von Ackerland in Schleswig-Holstein. In: *German Journal of Agricultural Economics* (im Druck).
- LESAGE, J.P. und R.K. PACE (2009): *Introduction to Spatial Econometrics*. CRC Press, Boca Raton.
- RAUH, S. (2010): Auswirkungen der Novellierung des EEG auf die Wettbewerbskraft der Biogasproduktion. In: J.-P. Loy et al. (Hrsg.): *Agrar- und Ernährungsmärkte nach dem Boom*. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 45. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 51–62.
- SIEGMUND, K. (2012): Bestandsaufnahme zu Entwicklungen am landwirtschaftlichen Boden- und Pachtmarkt. In: Bundesverband der gemeinnützigen Landgesellschaften (BLG) (Hrsg.): *Landwirtschaftlicher Bodenmarkt, Perspektiven und Grenzen der Weiterentwicklung des bodenpolitischen Ordnungsrahmens beim Grundstücksverkehr*. BLG, Berlin: II 1-II 40.
- Statistisches Bundesamt (2011): *Eigentums- und Pachtverhältnisse. Landwirtschaftszählung 2010*. Statistisches Bundesamt (Hrsg.). Fachserie 3 Heft 3, Wiesbaden.
- TOBLER, W. (1970): A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46 (2): 234-240.

# Von der Saat zur Ernte – Agrarstudium und Berufseinstieg

Birgit Schulze-Ehlers

Institut für Agrarökonomie

## **Einleitung**

Bereits im Jahr 1998 diagnostizierte die Unternehmensberatung McKinsey aufgrund des demographischen und sozialen Wandels den Beginn eines „War for Talent“ – eines Kampfes der Unternehmen um die besten Köpfe. Eine internationale Befragung von Schülern, Studierenden, Unternehmen und Bildungseinrichtungen, die das Unternehmen im Jahr 2012 durchführte, unterstreicht diesen zunehmenden Fachkräftemangel: rund 32% der deutschen Unternehmen gaben an, Stellen aufgrund fehlender Bewerber mit entsprechender Qualifikation lange nicht besetzen zu können (McKinsey, 2012).

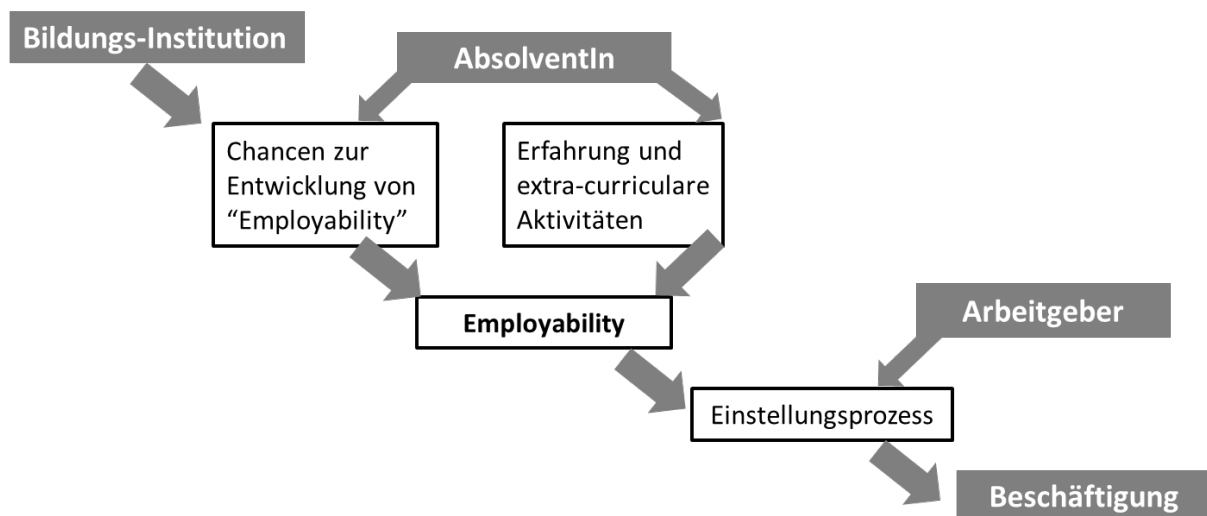
Für gut ausgebildete HochschulabsolventInnen ergeben sich daraus grundsätzlich hervorragende Berufsaussichten, die kürzere Suchdauern und höhere Einstiegsgehälter erwarten lassen. Jedoch zeigt die jüngste McKinsey-Erhebung auch einen weiteren Trend: während die Hochschulen davon ausgehen, die jungen Menschen gut auf eine künftige Berufstätigkeit vorzubereiten, sind die Antworten sowohl der jungen Menschen selbst als auch der Unternehmen auf diese Frage deutlich negativer. Die Definitionen dessen, was eine gute Ausbildung ausmacht, fallen möglicherweise zunehmend auseinander.

Dieser Beitrag beschäftigt sich vor dem beschriebenen Hintergrund mit den Einflussfaktoren auf die Dauer der Jobsuche sowie auf die Einstiegsgehälter von AbsolventInnen der Agrarwissenschaften in Deutschland. Insbesondere soll die Bedeutung praktischer Erfahrungen im Verhältnis zum erworbenen Fachwissen sowie persönlichen Merkmalen der Absolventinnen und Absolventen beleuchtet werden. Hierzu werden Ergebnisse einer empirischen Studie zum Berufseinstieg von Absolventen deutscher Universitäten und Fachhochschulen herangezogen. Dieser liegen verschiedene Modelle der Arbeits- und Bildungsforschung zugrunde, die im Folgenden kurz skizziert werden. Der Beitrag schließt, nach Diskussion der Ergebnisse, mit einigen Überlegungen zu den Implikationen für AbsolventInnen, Hochschulen, und Unternehmen.

## Forschungsrahmen

Verschiedene Disziplinen beschäftigen sich mit den Determinanten des Erfolgs bei der Jobsuche. Die Humankapital-Theorie geht dabei davon aus, dass die Chancen auf beruflichen Erfolg von der erworbenen Bildung und den Fähigkeiten einer Person abhängen. In der Arbeits- und Bildungsökonomik werden darüber hinaus weitere sozioökonomische Determinanten berücksichtigt, wie der soziale Status, die Bildung der Eltern, etc. Darüber hinaus beschäftigen sich aber auch die Organisations- und Personalpsychologie und die Soziologie mit den Einflussfaktoren auf Jobsuche und -erfolg. Erstere definieren als Einflussfaktoren insbesondere die Persönlichkeit, sowie Motive und Erwartungen. Die Soziologie hingegen versucht, in der sozialen Einbettung der Jobsuchenden Erfolgsfaktoren zu identifizieren (Granovetter, 1973). In der Gesamtschau ist festzustellen, dass die Bildung sicherlich einen wichtigen, aber nicht den einzigen Einflussfaktor auf die „Employability“, d.h. die Berufsfähigkeit von Schul- bzw. Hochschulabgängern, darstellt (Abbildung 4).

**Abbildung 4:** Rolle verschiedener Akteure bei der Bildung von „Employability“



Quelle: Harvey (2001)

Zur Herleitung der diesem Beitrag zugrunde liegenden Hypothesen wurden die oben genannten Forschungsansätze herangezogen. Angesichts des begrenzten Platzes, sei für die detailliertere Darstellung auf Schulze-Ehlers (2015a und b) verwiesen.

## **Material und Methoden**

### ***Fragebogen und Ablauf der Befragung***

Die Analyse basiert auf einer Befragung von AbsolventInnen der Agrarwissenschaften an deutschen Universitäten und Fachhochschulen, die zwischen Dezember 2011 und Januar 2012 von der Verfasserin im Auftrag des Bundesverbands Berufsverband Agrar Ernährung Umwelt (VDL) durchgeführt wurde. Die Befragung umfasste neben einer ausführlichen Erfassung des Studienverlaufs auch Informationen zu absolvierten Praktika sowie zum Berufseinstieg und zu persönlichen Merkmalen. Eine detaillierte, im Wesentlichen deskriptive Analyse der Daten findet sich in Schulze (2012).

### ***Stichprobenbeschreibung und bivariate Zusammenhänge***

Für die spezifische Analyse in diesem Beitrag wurden ausschließlich Master- oder Diplom-Absolventen der Universitäten und Diplom- und Bachelor-Absolventen der Fachhochschulen einbezogen. Die übrigen Abschlüsse – Universitäts-Bachelor sowie FH-Master waren nicht in ausreichender Zahl unter den Berufseinsteigern vertreten, da der Großteil der Uni-Bachelors ein Masterstudium anschloss, und an den FHs noch kaum Masterprogramme angeboten wurden. Die Stichprobe umfasst insgesamt 305 Datensätze. Aus den folgenden Tabellen wird die Stichprobenstruktur ersichtlich; darüber hinaus geben die darin berichteten Ergebnisse der bivariaten Korrelationsanalysen einen ersten Eindruck der Zusammenhänge zwischen den angenommenen Einflussfaktoren und den Erfolgsmaßen, Suchdauer und Einstiegsgehalt.

Wie Tabelle 1 zeigt, sind 59% der Befragten weiblich, was auch mit dem hohen Anteil Universitätsabsolventen in der Stichprobe zusammenhängt: unter FH-Absolventen ist der Frauenanteil in der Stichprobe deutlich geringer. Im Schnitt waren die Befragten bei Abschluss 26,4 Jahre alt und hatten 5,6 Jahre studiert. Gemäß der bivariaten Analyse scheinen Frauen länger nach einem Job zu suchen und auch signifikant weniger zu verdienen als ihre männlichen Kommilitonen. Während Alter und Uni-Abschluss in der bivariaten Analyse keinen Zusammenhang mit dem Sucherfolg aufweisen, findet sich ein schwach signifikanter Zusammenhang zwischen Studiendauer und Einstiegsgehalt.

Hinsichtlich der Praxiserfahrungen zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge mit der Anzahl oder Dauer von Praktika. Auslandspraktika wirken sich jedoch positiv auf das Einstiegsgehalt aus – während die Anzahl gesprochener Sprachen einen negativen Effekt zu haben scheint. Eine vor dem Studium abgeschlossene Berufsausbildung sowie ein landwirtschaftlicher familiärer Hintergrund („Landwirtskind“) wirken sich erwartungsgemäß negativ auf die Suchdauer und positiv auf das Einstiegsgehalt aus.



**Tabelle 1:** Soziodemographie und persönliche Charakteristika

<b>Soziodemographie</b>	<b>Mittelwert / Anteil im Sample</b>	<b>Standard Abweichung</b>	<b>Korrelation mit Suchdauer</b>	<b>Korrelation Einstiegsgehalt</b>
Geschlecht weiblich	59%		<b>.131*</b>	<b>-.267**</b>
Alter bei Abschluss	26.4	2.9	.042	.026
Studiendauer	5.6	1.4	.096	<b>-.113*</b>
Universitäts-AbsolventIn	63.6%		.011	-.044
Anzahl Praktika	2.42	.13	.012	-.035
Dauer Praktika in D	7.96	6.41	.027	-.030
Dauer aller Praktika	9.57	6.89	.038	.017
Auslandspraktikum	31.2%		-.005	<b>.165**</b>
Anzahl Sprachen	2.17	.79	.075	<b>-.160**</b>
Vorherige Berufsausbildung	27.2%		<b>-.158**</b>	<b>.113*</b>
“Landwirtskind”	33.4%		<b>-.166**</b>	<b>.188**</b>

*\*signifikant mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit; \*\* 1% Irrtumswahrscheinlichkeit*

*Quelle: Eigene Darstellung*

Insgesamt fand der Großteil der Befragten relativ schnell einen Job (Tabelle 2) – rund drei Viertel standen spätestens 3 Monate nach dem Abschluss „in Lohn und Brot“ (Median: 1 Monat). Das Einstiegsgehalt lag im Median in der Kategorie 25.-30.000€ - jeweils rund 50% der Befragten verdienen also weniger bzw. mehr als 30.000€ brutto im ersten Berufsjahr. Die beiden Größen stehen wie erwartet im negativen Zusammenhang: ökonomisch formuliert senken Arbeitssuchende mit zunehmender Suchdauer ihren Reservationslohn, nehmen also auch Jobs mit niedrigeren Entgelten an. Ebenfalls entsprechend des aktuellen Forschungsstands (Esteban-Pretel, Nakajima, & Tanaka, 2011), erhielten Befragte mit befristeten Verträgen oder Teilzeitbeschäftigung geringere Entgelte. Die Anzahl an Jobangeboten, als Indikator für die Berufsfähigkeit von AbsolventInnen, steht erwartungsgemäß in positivem Zusammenhang mit dem Einstiegsgehalt, korreliert jedoch, im Gegensatz zur Anzahl Vorstellungsgespräche, nicht mit der Suchdauer.

Die Zusammenhänge zwischen Suchdauer und Sektor des ersten Jobs bieten Anzeichen für das Verhältnis von Angebot und Nachfrage nach Stellen: wer im vorgelagerten Bereich des Agribusiness tätig wurde, suchte signifikant kürzer als die übrigen AbsolventInnen, im nachgelagerten Bereich hingegen dauerte die Suche deutlich länger. Beim Einstiegsgehalt zeigt sich ein positiver Zusammenhang mit Tätigkeiten im vorgelagerten Bereich, ein negativer hingegen im Bereich der Dienstleistungen im Agribusiness sowie der Tätigkeiten außerhalb des Agribusiness.

**Tabelle 2:** Kennzahlen zu Jobsuche und Berufseinstieg

	Mittelwert / Anteil im Sample	Standard Abweichung	Korrelation mit Suchdauer	Korrelation Einstiegsgehalt
Suchdauer [Monate]	3.3	6.1	1	<b>-.218**</b>
Suchbeginn vor Abschluss	57.7%		<b>-.263**</b>	.065
Suchbeginn bei Abschluss	26.9%		<b>.168**</b>	-.069
Suchbeginn nach Abschluss	9.5%		<b>.219**</b>	.022
Anzahl Vorstellungsgespräche	2.6	2.56	<b>.284**</b>	.039
Anzahl Jobangebote	1.6	.72	-.037	<b>.232**</b>
Einstiegsgehalt <sup>1</sup>	3.46	1.8	<b>-.218**</b>	1
Befristete Anstellung	47.9%		.048	<b>-.341**</b>
Vollzeitjob	85.6%		<b>-.154**</b>	<b>.421**</b>
Vorgelagertes Agribusiness	23%		<b>-.136*</b>	<b>.232**</b>
Nachgelagertes Agribusiness	17.4%		<b>.132*</b>	.079
Services im Agribusiness	40.3%		-.015	<b>-.178**</b>
Sonstiges im Agribusiness	7.5%		-.041	.044
Außerhalb des Agribusiness	11.8%		.079	<b>-.162**</b>
Bevorzugte Branche	66.2%		-.064	<b>.156**</b>
Bevorzugte Tätigkeit	63%		<b>-.197**</b>	<b>.167**</b>

*Quelle: Eigene Darstellung*

Aufschlussreich sind auch die Antworten auf die Frage, welche Faktoren nach eigener Einschätzung für die Einstellung ausschlaggebend waren (Tabelle 3). Entsprechend der Netzwerktheorie (Granovetter, 1973) haben ein großes Netzwerk sowie gemeinsame Bekannte, die als Referenz dienten, einen (schwach signifikanten) negativen Effekt auf die Suchdauer, jedoch keinen Einfluss auf das Einstiegsgehalt. Relativ stark positiv wirken sich Praxiserfahrungen aus, etwas weniger deutlich auch die internationale Kompetenz und eine höhere Mobilität im Vergleich zu Wettbewerbern. Interessant ist die unerwartete negative Korrelation zwischen „keine Wettbewerber“ und Einstiegsgehalt – ggfs. kann dies eher als Indikator eines geringen Selbstbewusstseins interpretiert werden, das sich negativ in den Verhandlungen auswirkte.

**Tabelle 3:** Vermutete Einstellungsgründe

Index / Item	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation mit Suchdauer	Korrelation Einstiegsgehalt
Studienleistung <sup>1</sup> (Noten, Studiendauer, Fachwissen, Fächerkombination)	3.22	0.81	-.076	.097
<b>Netzwerk<sup>1</sup></b> <b>(großes Netzwerk, gemeinsame Bekannte)</b>	2.20	1.10	<b>-.122*</b>	.097
<b>Internationale Kompetenz<sup>1</sup></b> <b>(Sprachen, Auslandserfahrung)</b>	2.39	1.23	-.030	<b>.135*</b>
<b>Praktische Erfahrung</b>	3.77	1.30	-.111	<b>.319**</b>
Sympathie	4.23	0.88	-.035	.037
Soziales Engagement	2.58	1.28	-.014	.041
<b>Höhere Mobilität als andere</b>	2.79	1.43	-.017	<b>.149**</b>
<b>Keine Wettbewerber</b>	2.15	1.31	.075	<b>-.220**</b>
<b>Geringere Gehaltserwartungen als andere</b>	1.83	1.14	.101	<b>-.203**</b>
Alter	2.29	1.15	-.035	.013

*Quelle: Eigene Darstellung*

Ebenso ist eine „geringere Gehaltserwartung“ tatsächlich auch mit einem geringeren Einstiegsgehalt verbunden. Dass die Persönlichkeit einen Zusammenhang mit dem Jobsucherfolg aufweist, zeigt Tabelle 4: Während hohe Werte bei Selbstbewusstsein und Selbstwertschätzung in negativem Zusammenhang mit der Suchdauer und in positivem mit dem Einstiegsgehalt stehen, wirken sich Neurotizismus und eine höhere externe Kontrollwahrnehmung ausschließlich negativ auf das Einstiegsgehalt aus.

**Tabelle 4:** Zusammenhang von Persönlichkeit und Jobsucherfolg

Index / Item	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation mit Suchdauer	Korrelation Einstiegsgehalt
Selbstbewusstsein, Selbst-Effektivität Index; CA=0.74	4.25	0.52	<b>-.137*</b>	<b>.193**</b>
Neurotizismus/Externe Kontrollerwartung Index; CA=0.82	2.46	0.88	.050	<b>-.134*</b>

*Quelle: Eigene Darstellung*

Dies lässt darauf schließen, dass solche Personen ggfs. schneller ein Jobangebot annehmen, als selbstbewusstere Personen, und entsprechend auch geringere Gehälter akzeptieren, aus Angst, lange arbeitslos zu sein.

### Ergebnisse der multivariaten Analysen

Im Ergebnis der multiplen Regressionsanalysen zu den Determinanten des Erfolgs bei der Jobsuche zeigt sich, dass die Dauer der Jobsuche nur zu einem sehr geringen Teil – 16% – durch die verfügbaren Informationen erklärt werden kann (Tabelle 5). Das Abschlussjahr spielte im turbulenten letzten Jahrzehnt eine besondere Rolle für die Suchdauer. So suchten AbsolventInnen des Jahres 2007 deutlich länger als die AbsolventInnen der übrigen Jahrgänge. Unterschiede zwischen Universitäts- und FH-Absolventen waren hinsichtlich der Suchdauer nur in der bivariaten Analyse festzustellen. AbsolventInnen, die bereits vor dem Studium eine Berufsausbildung absolviert hatten, fanden ebenso schneller einen Job, wie solche, die im der Landwirtschaft vorgelagerten Bereich einstiegen.

**Tabelle 5:** Regressionsergebnisse: Suchdauer

	Nicht-std.		Std.	t	Sig.	Kollinearitätsstatistiken		R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>
	Koeff.		Koeff.			Toleranz	VIF		
	B	Std. Fehler	Beta						
Konstante	4.662	.676		6.894	.000				
Suchbeginn vor Abschluss	-2.156	.708	<b>-.175</b>	-3.045	.003	.839	1.192	.069	<b>.066</b>
Abschlussjahr = 2007	2.957	.867	<b>.181</b>	3.412	.001	.980	1.021	.094	<b>.088</b>
“Landwirtskind”	-1.253	.699	<b>-.097</b>	-1.791	.074	.942	1.061	.116	<b>.108</b>
Suchbeginn nach Abschluss	2.809	1.184	<b>.135</b>	2.373	.018	.958	1.044	.132	<b>.121</b>
Vorgelagertes Agribusiness	-2.172	.778	<b>-.150</b>	-2.791	.006	.972	1.029	.148	<b>.134</b>
Studienregion=Ost	2.031	.772	<b>.140</b>	2.631	.009	.956	1.046	.165	<b>.148</b>
Vorherige Berufsausbildung	-1.730	.735	<b>-.126</b>	-2.353	.019	.853	1.172	.180	<b>.160</b>
N=305; Durbin Watson=1.841									

*Quelle: Eigene Darstellung*

Die Varianz in den Einstiegsgehältern kann zu 38% erklärt werden (Tabelle 6) – wichtigste Erklärungsgröße ist, nach der Unterscheidung von Voll- und Teilzeitstellen, das Geschlecht: Frauen verdienen bei Berufseinstieg signifikant weniger als ihre männlichen Kommilitonen. Dieses Ergebnis ist konsistent mit Ergebnissen der Arbeitsmarktforschung (Antecol & Cobb-Clark, 2013). Auch Einsteiger im Dienstleistungsbereich des Agribusiness, sowie Absolventen, die außerhalb des Agribusiness eine Anstellung fanden verdienen schlechter. Entsprechend der Arbeitsökonomischen Theorie wird letzteres mit einer mangelnden Passung zwischen Ausbildung und Arbeitsanforderungen erklärt. Prakti-

sche Erfahrung trägt dagegen maßgeblich zu einem höheren Einstiegsgehalt bei. Praktika im Ausland und ein Universitätsabschluss erhöhten c.p. ebenfalls das Einstiegsgehalt. Im Gegensatz zu bisherigen Studien hat die Anzahl der gesprochenen Sprachen in dieser Befragung einen negativen Effekt auf das Lohnniveau. Allerdings fand auch Stöhr (2015) in der Analyse verschiedener Sprachfähigkeiten ausschließlich für die sichere Beherrschung der englischen Sprache einen klaren positiven Lohneffekt. Eine weitere Untersuchung hinsichtlich der Effekte der verschiedenen Sprachen ist insofern notwendig, um die gefundenen Ergebnisse differenzierter bewerten zu können.

**Tabelle 6:** Regressionsergebnisse: Einstiegsgehalt

	Nicht-stand. Koeff.		Stand. Koeff.	t	Sig.	Kollinearitätsstatistik		R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>
	B	Std. Fehler	Beta			Toleranz	VIF		
(Konstante)	1.72	.509		3.374	.001				
Vollzeitjob	1.74	.251	<b>.34</b>	6.947	.000	.86	1.17	.18	<b>.18</b>
Praktische Erfahrung	.18	.068	<b>.13</b>	2.693	.007	.85	1.18	.24	<b>.24</b>
Geschlecht weiblich	-.59	.178	<b>-.16</b>	-3.294	.001	.87	1.15	.29	<b>.28</b>
Befristete Anstellung	-.87	.180	<b>-.24</b>	-4.849	.000	.82	1.21	.32	<b>.31</b>
UniversitätsabsolventIn	.55	.189	<b>.15</b>	2.894	.004	.81	1.24	.34	<b>.33</b>
Anzahl Angebote	.27	.118	<b>.11</b>	2.296	.022	.92	1.08	.36	<b>.34</b>
Internat. Kompetenz	.23	.074	<b>.15</b>	3.061	.002	.81	1.23	.37	<b>.36</b>
Anzahl Sprachen	-.31	.115	<b>-.14</b>	-2.690	.008	.82	1.23	.38	<b>.37</b>
Geringere Gehaltserwartung	-.18	.074	<b>-.11</b>	-2.407	.017	.94	1.06	.40	<b>.38</b>

*Quelle: Eigene Darstellung*

### Fazit

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse die Relevanz praktischer Erfahrungen für die erfolgreiche Jobsuche und namentlich für die Höhe des Einstiegsgehalts von AbsolventInnen von Agrar-Studiengängen. Enge Verbindungen der Hochschulen in die Industrie sowie klare Mobilitätsfenster dürften somit auch die Attraktivität der Standorte für Studierende erhöhen. Hierfür sollte aber besonderes Augenmerk auf die Schaffung extra-curricularer Angebote gelegt werden: ohne ein fundiertes Fachwissen und die Fähigkeit, dieses auf neue Situationen anzuwenden, werden AbsolventInnen auch künftig nicht im Arbeitsmarkt bestehen können. Festzuhalten bleibt ebenfalls, dass die Hochschulen nur Angebote schaffen können – diese müssen von den Studierenden aufgegriffen und in entsprechende Kompetenzen umgesetzt werden. Allein die Zahl und Dauer der Praktika zu erhöhen, das zeigen die Ergebnisse sehr deutlich, verbessert die Chancen am Arbeitsmarkt nicht.

## Literatur

- Antecol, H., & Cobb-Clark, D. A. 2013. Do psychosocial traits help explain gender segregation in young people's occupations? *Labour Economics*, 21(0): 59-73.
- Esteban-Pretel, J., Nakajima, R., & Tanaka, R. 2011. Are contingent jobs dead ends or stepping stones to regular jobs? Evidence from a structural estimation. *Labour Economics*, 18(4): 513-526.
- Granovetter, M. 1973. The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology*, 78(6): 1360-1380.
- Harvey, L. 2001. Defining and Measuring Employability. *Quality in Higher Education*, 7(2): 97-109.
- McKinsey. 2012. Education to Employment: Designing a System that Works. Verfügbar unter: [http://www.mckinsey.com/client\\_service/public\\_sector/mckinsey\\_center\\_for\\_government/education\\_to\\_employment](http://www.mckinsey.com/client_service/public_sector/mckinsey_center_for_government/education_to_employment)
- Stöhr, T. 2015. The returns to occupational foreign language use: Evidence from Germany. *Labour Economics*, 32(0): 86-98.
- Schulze, B. 2012. Berufsfeldanalyse im Agrarbereich 2012: Ergebnisse einer bundesweiten Absolventen- und Arbeitgeberbefragung. Studie im Auftrag und hrsg. von VDL-Bundesverband Berufsverband Agrar, Ernährung, Umwelt e.V., Berlin.
- Schulze-Ehlers, B. 2015a. Von der Saat zur Ernte – Agrarstudium und Berufseinstieg. Vortrag im Rahmen der 64. Hochschultagung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 05.02.2015. Verfügbar unter [http://www.agric-econ.uni-kiel.de/Abteilungen/agribusinesschain/Vortrag\\_HST\\_SE.pdf](http://www.agric-econ.uni-kiel.de/Abteilungen/agribusinesschain/Vortrag_HST_SE.pdf)
- Schulze-Ehlers, B. 2015b. Determinants of Job Search Success of German Agricultural Sciences Graduates. Konferenzbeitrag zum 9th International European Forum (Igl-Forum) on System Dynamics and Innovation in Food Networks, 09. -13.2.2015, Innsbruck-Igls.

# **Moralische Entkopplung: Ein Erklärungsansatz zum (un)verantwortlichen Handeln von Konsumenten**

Kristina Haberstroh<sup>1</sup>, Ulrich Orth<sup>1</sup>, Stefan Hoffmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Agrarökonomie, <sup>2</sup>Institut für Betriebswirtschaftslehre

## **Einleitung**

Konsumenten handeln oft anders als sie in Studien zu ihrem Einkaufsverhalten angeben. In der Literatur als „mind-behavior gap“ bekannt, tritt dieses Phänomen unter anderem auf, wenn es um moralisch fragwürdige Praktiken bei der Erzeugung von Konsumgütern geht. So berichtet eine Vielzahl von Studien, dass Verbraucher negativ reagieren, wenn Unternehmen Kinderarbeit einsetzen, auf Tierversuche zurückgreifen, die natürliche Umwelt belasten oder sonstige ethische Standards verletzen. Negative Konsequenzen reichen in solchen Fällen von Imageschäden (Unternehmen, Marke oder Produkt) über Veränderungen von Verbrauchereinstellungen und Verhalten bis hin zum Boykott mit Verlusten an Umsatz, Gewinn und Aktienkurs. Auf der anderen Seite gibt es regelmäßig Fälle, in denen eindeutig unmoralisches unternehmerisches Verhalten keine oder nur unbedeutende Konsequenzen hat. So kauften Verbraucher trotz bestätigter Berichte über den unmoralischen Umgang mit Mitarbeitern, Fabrikarbeitern oder Tieren weiterhin Elektrogeräte, beim Onlinehändler oder von Sportartikelherstellern.

Vor diesem Hintergrund untersucht der vorliegende Beitrag, *warum* Konsumenten Lebensmittel kaufen, wenn diese ganz offensichtlich durch unmoralisches Unternehmensverhalten hergestellt wurden. Als Erklärungsansatz dient das Modell moralischer Entkopplung mit der Kernannahme, dass Konsumenten den Kauf solcher Produkte rechtfertigen, indem sie das moralische Urteil vom leistungsbezogenen Urteil trennen (Bhattacharjee et al., 2013).

## **Theoretischer Rahmen**

### *Kognitive Dissonanztheorie*

Die Lücke zwischen Einstellungen und Verhalten („mind/attitude – behavior gap“) ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Eine theoretische Grundlage, auf die zahlreiche Studien zum Konflikt zwischen Einstellung (z.B. zu Kinderarbeit) und Verhalten (z.B. Kauf von mit Kinderarbeit hergestellten Produkten) zugreifen, ist die kognitive Dissonanztheorie. Kognitive Dissonanz

liegt vor, wenn Menschen sich anders verhalten, als ihre internen Normen und Überzeugungen vorgeben und führt zu einem Gefühl des Unbehagens und zu einem inneren Spannungszustand. Dieser Zustand ist unangenehm und nach Festingers (1957) Dissonanztheorie möglichst zu vermeiden. Dafür eignen sich drei unterschiedliche Strategien. Zunächst bietet eine Einstellungs- oder Verhaltensänderung die Möglichkeit, eine Konsonanz zwischen Einstellung und Verhalten herzustellen. Die zweite Strategie beinhaltet die Suche nach neuen Informationen zur Erhöhung der Konsonanz. Die dritte Strategie beinhaltet die Reduzierung der Wichtigkeit der Informationen und Kognitionen, die zur Dissonanz führen. Die Anwendung dieser Strategien kann in irrationalem beziehungsweise widersprüchlichem Verhalten (z.B. der Kauf von unethisch produzierten und gehandelten Lebensmitteln) resultieren. Gemein ist allen Strategien jedoch, dass sie aufwendig und mühsam sind, da die Betroffenen quasi mit sich selbst verhandeln müssen.

#### *Motivated reasoning*

In der Ethikforschung hat vor allem die sogenannte motivated reasoning-Strategie Anwendung gefunden, die die Rolle der Motivation in kognitiven Prozessen (z.B. Konsumentenentscheidung) beschreibt. Hier zielt die Motivation auf eine Dissonanzreduktion ab, indem sie kognitive Prozesse auslöst, die zu gewünschten Ergebnissen führen. Beispielsweise tendieren Menschen, die hoch motiviert sind, dazu, ein bestimmtes Ergebnis zu erreichen, indem sie einseitig Informationen suchen (nur solche, die die gewünschte Schlussfolgerung unterstützen). Darüber hinaus werden Informationen, die konsistent mit dem bevorzugten Ergebnis sind, weniger kritisch betrachtet als Informationen, die nicht konsistent mit einem erstrebten Resultat sind (Kunda, 1990).

Die Grenzen dieses Erklärungsansatzes sind jedoch erreicht, wenn Informationen extrem negativ ausfallen, da es den Konsumenten zunehmend schwerer fällt beziehungsweise unmöglich wird, diese Informationen zu ignorieren und nicht in ihre Bewertung einfließen zu lassen (Ahluwalia, 2000).

#### *Moralische Entkopplung*

Ein neuer Ansatz zur Erklärung dissonanten Verhaltens, ist das Modell der moralischen Entkopplung von Bhattacharjee et al. aus dem Jahr 2013.

Die Autoren der US-amerikanischen Studie stellten sich unter anderem die Frage, warum ein Präsident, der sich des Meineids schuldig gemacht hat, trotzdem mit großer Zustimmung im Amt verbleibt. Als Erklärungsansatz schlugen sie eine moralische Entkopplung vor, definiert als einen psychologischen Trennungsprozess, bei dem Konsumenten das moralische Verhalten (z.B. Meineid) getrennt von der erbrachten Leistung (z.B. gute Arbeit als Präsident) bewerten.



Ein wesentlicher Vorteil dieses Modells ist, dass - anders als bei Modellen der moralischen Rechtfertigung, die auf dem Herunterspielen oder der Banalisierung des unmoralischen Aktes basieren - eine Entkopplung weniger kognitive Aufwand erfordert, leichter zu rechtfertigen ist und dem grundlegenden menschlichen Bedürfnis nach einem positiven Selbstbild Rechnung getragen wird. Der vorliegende Beitrag überträgt das Modell zur Beantwortung "Warum kaufen Konsumenten weiterhin Lebensmittel, die offensichtlich unfair hergestellt und gehandelt worden sind?".

## Empirische Studie

### Methoden

Um das widersprüchliche Verhalten von Konsumenten in Bezug auf den Kauf unethisch produzierter und gehandelter Lebensmittel zu erklären, repliziert und überträgt dieser Beitrag das Konzept der moralischen Entkopplung auf den Unternehmenskontext in Deutschland. Tabelle 1 gibt einen Überblick über Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen der Originalstudie und der vorliegenden Studie.

**Tabelle 7: Vergleich der Originalstudie mit der vorliegenden Studie**

	<b>Bhattacharjee et al., 2013</b>	<b>Unsere Studie</b>
<b>Moralischer Akteur</b>	Personen der Öffentlichkeit (Individuum: Gouverneur, Tiger Woods)	Unternehmen (kollektive Einheit)
<b>Stichprobe</b>	Amerikanische Stichprobe (v.a. Studenten)	Deutsche Konsumenten (n=261, $MW_{\text{Alter}}=28$ Jahre, 75% Frauen)
<b>Stimuli</b>	Vignetten	Video
<b>Variablen</b>	Moralische Entkopplung (UV) (Bhattacharjee et al., 2013)	Moralische Entkopplung (UV) (Bhattacharjee et al., 2013)
	Bewertung der (Un)moral (Bhattacharjee et al., 2013)	Bewertung der (Un)moral (Bhattacharjee et al., 2013)
	Bewertung der Leistung (Bhattacharjee et al., 2013)	Bewertung der Leistung (Bhattacharjee et al., 2013)
	Unterstützung durch den Konsumenten (AV)	Kaufabsicht (AV) (Petruvu & Lord, 1994)
		Produktinvolvement (Moderator) (Mittal & Lee, 1989)
	Relevanz des unmoralischen Verhaltens:	Relevanz des unmoralischen Verhaltens:
	Relevanz in Bezug auf die Arbeitsleistung (Studie 3)	Wahrgenommener Schaden (Ingram et al., 2005)

UV = Unabhängige Variable, AV = Abhängige Variable

Bhattacharjee et al. (2013) werteten Reaktionen auf Szenarien (Vignetten) aus, die sowohl Fehltritte als auch Fähigkeiten von öffentlichen Personen schilderten. Anschließend gaben die Probanden ihr Urteil über die erbrachte Leistung sowie das moralische Verhalten und ihre Absicht zur weiteren Unterstützung an. Außerdem berichteten sie, ob die Moral getrennt von der Leistung bewertet werden sollte. Diese Studie verwendete einen realistischen Stimulus, nämlich ein fünf-minütiges Video, welches einen Marktstand zeigt, an dem Mitarbeiter des fiktiven Unternehmens „Agraprofit“ Lebensmittel verkaufen. Sie geben ihren Kunden gegenüber ganz offen zu, dass die günstigen Preise für die angebotenen Lebensmittel durch zweifelhafte Produktions- und Handelsbedingungen (z.B. Kinderarbeit, Niedriglöhne) zustande kommen und kommunizieren dabei deutlich ihr Firmenprinzip „Realität akzeptieren – Profit maximieren!“. Im Anschluss an dieses Video machten die Studienteilnehmer Angaben zu der Bewertung der Moral und der Leistung sowie zur moralischen Entkopplung. Das Produktinvolvement (affektive und kognitive Bedeutung eines Produktes für eine Person) (Mittal & Lee, 1989) wurde als zusätzlicher möglicher Moderator in das Modell aufgenommen.

#### *Analysen und Ergebnisse*

In Übereinstimmung mit den aufgestellten Vermutungen zeigt die Analyse, dass die moralische Entkopplung einen positiven Einfluss auf die Kaufabsicht der Konsumenten ausübt. Darüber hinaus wird nach Durchführung einer multiplen Mediation (Preacher & Hayes, 2008) deutlich, dass die moralische Entkopplung die Bewertung der Leistung positiv beeinflusst, während der Effekt auf die Bewertung der Unmoral negativ ist. Das bedeutet, dass Konsumenten, die die Leistung getrennt von dem moralischen Verhalten beurteilen, die günstige Herstellungsweise positiver und die Produktions- und Handelsbedingungen des Unternehmens als weniger unmoralisch einstufen. Als Beweis für die Existenz des Konzeptes im Unternehmenskontext dient die positive Beziehung zwischen der Leistungsbewertung und der Kaufabsicht sowie der nicht-signifikante Einfluss der Moralbewertung. Somit begründen die Konsumenten ihre Verhaltensabsicht (unethisch produzierte Lebensmittel zu kaufen), indem sie Moral und Leistung gelöst voneinander bewerten und letztlich nur das Leistungsurteil in die Bildung der Kaufabsicht einfließen lassen. Die indirekten Effekte der Mediation bestätigen dies.

Ferner wurde die Rolle des Produktinvolvements als möglicher Moderator getestet. Die Analyse offenbart, dass der Interaktionsterm aus moralischer Entkopplung und Produktinvolvement einen zusätzlichen signifikanten Effekt auf die Kaufabsicht ausübt. Die Durchführung einer Flutlichtanalyse ergibt einen Johnson-Neyman-Punkt von 2,01. Dieser Wert zeigt, dass bei Probanden mit

einem Produktinvolvement von 2,01 und höher der Koeffizient der moralischen Entkopplung signifikant positiv ist. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei weniger involvierten Konsumenten (Wert < 2,01) kein signifikanter Einfluss der moralischen Entkopplung auf die Kaufabsicht.

## **Diskussion**

### *Zusammenfassung und Implikationen*

Insgesamt wird deutlich, dass das Modell der moralischen Entkopplung geeignet ist, um Konsumentenreaktionen auf unmoralisches Verhalten von Firmen zu erklären. Konsumenten banalisieren die unmoralischen Produktions- und Handelsbedingungen von Unternehmen nicht, sondern entkoppeln die moralische Bewertung von dem Leistungsurteil und bilden ihre Verhaltensabsicht ausschließlich auf Basis der wahrgenommenen Leistung. Das Bemerkenswerte an dieser Studie ist, dass der Effekt sogar auftritt, wenn das unethische Verhalten (Senkung der Produktionskosten durch Kinderarbeit, Niedriglöhne, etc.) eng mit der Leistung (qualitativ angemessene und vielfältige Produkte zu niedrigen Preisen) verknüpft ist und somit im Grunde – zumindest theoretisch – schwieriger zu entkoppeln ist.

Die Erweiterung des Modells um das Produktinvolvement zeigt zudem, dass der Effekt der moralischen Entkopplung bei involvierten Kunden stärker ausgeprägt ist. Dieses Resultat stimmt mit der Literatur beispielsweise über Effekte der Markenbindung überein (Schmalz & Orth, 2012). Konsumenten, die ein höheres Involvement aufweisen, haben eine stärkere Bindung zu den Produkten und somit ist der Wunsch größer, diese Produkte weiterhin zu unterstützen, sodass es den Konsumenten leichter fällt, Moral und Leistung zu entkoppeln.

Für Unternehmen (aber auch politische Parteien, Non-Profit-Organisationen) liefert diese Studie nützliche Erkenntnisse im Umgang mit Skandalen. Danach ist es förderlich, eine Bindung oder gar eine enge Verbundenheit zu den Konsumenten aufzubauen, um Skandale aus Unternehmenssicht leichter zu überstehen.

### *Zukünftige Forschung*

Hinsichtlich der zukünftigen Forschung gibt es zwei zentrale Fragestellungen, die es detaillierter zu beantworten gilt. Zunächst sollte untersucht werden *Warum* das Konzept der moralischen Entkopplung ein besserer Ansatz ist als andere Konzepte (z.B. moral rationalization). Erste Vermutungen laufen darauf hinaus, dass sich die Entkopplung von Moral und Leistung weniger falsch anfühlt und leichter zu rechtfertigen ist, da Konsumenten das (un)moralische Verhalten nicht herunterspielen müssen. Somit erhält das Konzept der moralischen Entkopplung das positive Selbstbild. Weitere direkte Untersuchungen zur Klärung dieser Forschungsfrage sind jedoch notwendig.

Von Bedeutung sind überdies die Umstände und individuellen Variablen, die bestimmen *Wann* Konsumenten mehr oder weniger stark entkoppeln. Dieser vorliegende Beitrag hat einen ersten Schritt in diese Richtung bereits gemacht, indem die moderierende Rolle des Produktinvolvements untersucht worden ist. Zudem können auch andere Charakteristiken (z.B. moralische Wertvorstellungen) einen Einfluss ausüben. Insgesamt erscheint moralische Entkopplung ein vielversprechender Ansatz, zu dem jedoch noch weitere Untersuchungen notwendig sind.

## Referenzen

- Ahluwalia, R. (2000). Examination of psychological processes underlying resistance to persuasion. *Journal of Consumer Research*, 27, 217-232.
- Bhattacharjee, A., Berman, J. Z., & Reed, A. (2013). Tip of the hat, wag of the finger: How moral decoupling enables consumers to admire and admonish. *Journal of Consumer Research*, 39(4), 1167-1184.
- Festinger, L. (1957). *A Theory of Cognitive Dissonance*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Ingram, R., Skinner, S. J., & Taylor, V. A. (2005). Consumers' Evaluation of Unethical Marketing Behaviors: The Role of Customer Commitment. *Journal of Business Ethics*, 62, 237-252.
- Kunda, Z. (1990). The case of motivated reasoning. *Psychological Bulletin*, 108, 480-498.
- Mittal, B., & Lee, M.-S. (1989). A causal model of consumer involvement. *Journal of Economic Psychology*, 10(3), 363-389.
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods*, 40(3), 879-891.
- Putrevu, S., & Lord, K. R. (1994). Comparative and noncomparative advertising: Attitudinal effects under cognitive and affective involvement conditions. *Journal of Advertising*, 23(2), 77-91.
- Schmalz, S., & Orth, U. R. (2012). Brand attachment and consumer emotional response to unethical firm behavior. *Psychology and Marketing*, 29, 869-884.

# Evaluation eines kommerziellen Online-Gewichtsreduktionsprogramms

Steffi Dierks

Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre

## Einleitung

Die Prävalenz der Adipositas ist in den letzten Jahrzehnten in fast allen Industrienationen deutlich angestiegen und zählt heute zu den wichtigsten Gesundheitsproblemen. Die Auswertungen der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland zeigen, dass im Jahr 2011 29,0 % der Frauen und 43,8 % der Männer zwischen 18 und 79 Jahren übergewichtig sind. Weiter zeigte die Studie, dass 23,9 % der Frauen und 23,3 % der Männer adipös sind (Mensink et al. 2013).

Übergewicht und Adipositas sind das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels verschiedener Risikofaktoren (Speakman 2004). In erster Linie resultieren Übergewicht und Adipositas aus einer andauernden unausgeglichenen Energiebilanz. Das bedeutet, dass die Energieaufnahme über einen längeren Zeitraum über dem Gesamtenergieverbrauch liegt. Dieses Ungleichgewicht zwischen Nahrungsaufnahme und Energieverbrauch wird durch die überhöhte Zufuhr an kalorien- und fettreichen Lebensmitteln und einen inaktiven Lebensstil verursacht (Wirth & Hauner 2013, Karnehed et al. 2006, Chambers & Swanson 2006). Mit der ansteigenden Prävalenz von Übergewicht und Adipositas wächst die Gefahr der gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Eine starke Gewichtszunahme ist mit einem gehäuftem Auftreten einer Reihe von Erkrankungen assoziiert, z.B. Diabetes mellitus Typ II, koronare Herzkrankheit, arterielle Hypertonie. Adipositas begünstigt auch das Auftreten von orthopädischen Komplikationen, wie z.B. Arthrose in Hüft- und Kniegelenken (Deutsche Adipositas-Gesellschaft et al. 2014). Neben den physischen Begleiterkrankungen sind auch psychische Folgen zu beobachten. Adipöse Menschen sind einer starken Diskriminierung ausgesetzt (Warschburger 2013), was weitreichende Folgen für das psychische Wohlbefinden hat. So zeigen Untersuchungen, dass Betroffene durch diese abwertende Haltung Selbstvertrauen verlieren (Puhl et al. 2007), eine verminderte Lebensqualität verspüren (Backholer et al. 2012) und von einer negativen Körperwahrnehmung berichten (Legenbauer et al. 2011).

## **Motivation und Zielsetzung**

Angesichts der Größenordnung des Adipositasproblems lässt sich dieses Problem nicht ausschließlich durch persönliche Einzel- oder Gruppenberatungen lösen (Westenhöfer 2011). In Anbetracht der stetigen Nutzung des Internets und der positiven Eigenschaften des Internets, wie z.B. die große Reichweite und die permanente Erreichbarkeit, bieten Online-Gewichtsreduktionsprogramme einen wirkungsvollen Ansatz, um den Bedarf zum Teil abzudecken (Weinstein 2006). Ein vielversprechendes Online-Gewichtsreduktionsprogramm ist das kostenpflichtige, interaktive **KiloCoach**<sup>TM</sup>-Programm, das in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz angeboten wird. Schwerpunkt des Programms liegt in der selbstständigen Führung eines Ernährungs- und Bewegungstagebuches mit dem Ziel der Verbesserung der Ernährungs- und Bewegungsgewohnheiten. Die Mitglieder können dabei 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. Die Effektivität von **KiloCoach**<sup>TM</sup> in Bezug auf eine Gewichtsabnahme und Verbesserungen von medizinischen Parametern (z.B. Bluthochdruck, Triglyceride-Konzentration) wurde bereits in verschiedenen Studien nachgewiesen (Longin et al. 2013, Postrach et al. 2012, Postrach et al. 2013). Eine langfristige Gewichtsreduktion kann nur durch die nachhaltige Verbesserung von Ernährungs- und Bewegungsgewohnheiten erreicht werden (Deutsche Adipositas-Gesellschaft et al. 2014). Ebenso belegen empirische Studien, dass die Körperwahrnehmung bei der Reduktion und auch bei der Aufrechterhaltung des Körpergewichts eine wichtige Rolle spielt (Palmeira et al. 2010, Teixeira et al. 2010). Zudem wird eine Gewichtsabnahme durch psychosoziale Faktoren vermittelt. Abildso et al. (2010) schlagen vor, den Fokus von ausschließlich physischen Folgen, wie der Gewichtsabnahme, auf psychosoziale Faktoren, wie der Verbesserung des Selbstvertrauens und des Abbaus von Schwierigkeiten, zu verlagern (Abildso et al. 2010). Davon ausgehend ist das Ziel der Studie die umfassende Evaluation des **KiloCoach**<sup>TM</sup>-Programms. Das Online-Programm wird hinsichtlich der Gewichtsentwicklung, des Ernährungsverhaltens, der Körperwahrnehmung und gesundheitspsychologischer Konstrukte bewertet.

## **Methodik**

Die Basis für die im vorliegenden Beitrag vorgestellten Ergebnisse bildeten die im Jahr 2012 erhobenen Daten. In einer im Längsschnitt angelegten Online-Befragung wurden 165 Teilnehmer des Online-Gewichtsreduktionsprogramms **KiloCoach**<sup>TM</sup> in einem Abstand von sechs Monaten befragt. Neben der Erhe-

bung von demografischen und gewichtsrelevanten Variablen wurden ebenso die Ernährungsqualität, die Essgewohnheiten und die Körperwahrnehmung der Teilnehmer erfasst. Mit der Unterstützung von Ernährungsexperten wurde auf Basis einer Lebensmittelliste, die die Aspekte „ausgewogen“ und „fettarm“ als entscheidende Kriterien für eine gesunde Ernährung beinhalten, ein Index für die Ernährungsqualität berechnet. Zur Bildung dieses Indexes wurden die negativen Abweichungen von den Referenzwerten der sechs abgefragten Lebensmittelgruppen aufsummiert. Personen mit einem niedrigen Index weisen eine günstigere Ernährungsqualität auf, da die Ernährung des Befragten näher am Expertenurteil für eine gesunde Ernährung liegt. Nach Keller (1998) stellt ein Index  $\leq 10$  einen guten Richtwert für eine gesunde Ernährung dar. Neben der Qualität der zugeführten Lebensmittel spielen Aspekte des Verhaltens eine ebenso wichtige Rolle. Die DGE verweist auf hilfreiche Verhaltensstrategien bei einer Gewichtsreduktion. Die Statements zur Erhebung der Essgewohnheiten orientieren sich an den Empfehlungen der DGE für ein optimales Essverhalten. Das Antwortformat wurde als vierstufige Skala vorgegeben (1=„nie“ bis 4=„immer“). Der daraus gebildete Index wurde aus den aufsummierten Einzelwerten der abgefragten Statements berechnet. Der Index kann Werte zwischen 8 und 32 annehmen, wobei größere Werte günstigere Essgewohnheiten repräsentieren (Keller 1998). Zur Beurteilung der Körperwahrnehmung wurde eine Skala von Löwe & Clement (1996) herangezogen, bei der die Teilnehmer auf einer fünfstufigen Skala (1=„trifft nicht zu“ bis 5=„trifft völlig zu“) zum Ausdruck bringen, wie viel Kraft, Fitness und Gesundheit sie empfinden. Der berechnete Summenwert kann Werte zwischen 6 und 30 annehmen, wobei höhere Werte für eine positivere Körperwahrnehmung sprechen (Löwe & Clement 1996).

Die gesundheitspsychologischen Konstrukte stammen aus dem Transtheoretischem Modell der Verhaltensänderung. Das Modell wurde entwickelt, um menschliches Gesundheitsverhalten zu verstehen, erklären und vorherzusagen. Zu den kognitiven Konstrukten des Modells zählen die Selbstwirksamkeit sowie die wahrgenommenen Vor- und Nachteile einer Verhaltensänderung. Selbstwirksamkeit beschreibt das Selbstvertrauen einer Person, ein angestrebtes Zielverhalten auch unter schwierigen Umständen beizubehalten. Jede Verhaltensweise und deren Veränderung bringt Vor- und Nachteile mit sich, die von den Personen unterschiedlich wahrgenommen und bewertet werden (Prochaska & DiClemente 1982). Bei der Selbstwirksamkeit schätzten die Teilnehmer auf einer fünfstufigen Skala ihr Selbstvertrauen ein (1=„überhaupt nicht zuversichtlich“ bis 5=„äußerst zuversichtlich“), woraus der arithmetische Mittelwert gebildet wurde (Wertebereich 1-5). Höhere Werte stehen demnach für ein höheres Selbstvertrauen (Clark et al. 1991). Weiterhin gaben die Teilnehmer auf einer fünfstufigen Skala an, für wie wichtig sie die Aussagen zu wahrgenommenen

Vor- und Nachteilen einer Gewichtsreduktion einschätzen (1=„überhaupt nicht wichtig“ bis 5=„äußerst wichtig“). Die Aussagen zu den wahrgenommenen Vorteilen bezogen sich dabei auf die Verbesserung der Gesundheit. Größere Werte auf dieser Skala bedeuten, dass Teilnehmer den gesundheitlichen Vorteilen eine höhere Bedeutung zusprechen (Wertebereich 1-5). Bei den wahrgenommenen Nachteilen repräsentieren größere Werte, dass die Teilnehmer die Nachteile einer Gewichtsreduktion in der Wahrnehmung stärker gewichten (Wertebereich 1-5) (O’Connell & Velicer 1988, Keller 1998). Die vorliegenden Daten wurden mittels Kovarianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet. Dabei wurde die Zeit als Innersubjektfaktor und mehrere Zwischensubjektfaktoren, wie das Geschlecht (Frauen, Männer), die BMI-Gruppe (Normalgewicht, Übergewicht, Adipositas), die Länge der Mitgliedschaft (Anfänger mit 6 Monate Programmteilnahme, Fortgeschrittene mit > 6 Monate Programmteilnahme) sowie das Alter als Kovariate berücksichtigt.

## Ergebnisse

Unter den 165 Teilnehmern sind 73,3 % Frauen. Das mittlere Alter liegt bei 48,3 ( $\pm$  11,6) Jahren. In der Stichprobe sind 21,8 % normalgewichtig. Der größte Anteil weist mit 43,0 % Übergewicht auf. An Adipositas leiden 35,2 % der Teilnehmer. Mit 76,4 % kommt die Mehrheit der Teilnehmer aus Österreich. Tabelle 1 zeigt die deskriptiven Daten der Stichprobe.

**Tabelle 8: Demografische und anthropometrische Daten der vorliegenden Stichprobe**

<b>Stichprobe (n=165)</b>	
<b>Frauen (%)</b>	73,3
<b>Ø BMI (kg/m<sup>2</sup>)<sup>1</sup></b>	30,8 ( $\pm$ 6,1)
<b>BMI-Klassen (%)</b>	
Normalgewicht	21,8
Präadipositas	43,0
Adipositas	35,2
<b>Ø Alter (Jahren)</b>	48,3 ( $\pm$ 11,6)
<b>Nationalität (%)</b>	
Deutschland	22,4
Österreich	76,4
Schweiz	/
Sonstige	1,2

<sup>1</sup>=BMI bei der ersten Befragung

Tabelle 2 zeigt die deskriptive Statistik der Veränderung des BMI nach sechs Monaten. Für die Teilnehmer kann beobachtet werden, dass sich der BMI von 28,98 ( $\pm$  5,72) kg/m<sup>2</sup> auf 28,07 ( $\pm$  4,97) kg/m<sup>2</sup> reduziert. Das bedeutet, dass der



BMI im Mittel um 0,92 ( $\pm 1,74$ ) Einheiten sinkt, was einer prozentualen Gewichtsreduktion von 2,75 ( $\pm 5,29$ ) % entspricht. Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse zur Überprüfung einer signifikanten Reduktion des BMI nach sechs Monaten zeigen eine signifikante Interaktion „Zeit x Mitglied x BMI-Klasse“ ( $F_{(2,152)}$ -Wert = 5,761,  $p = 0,004$ ). Das bedeutet, dass die Entwicklung des BMI abhängig ist von der BMI-Klasse und der Länge der Mitgliedschaft. Mithilfe von anschließenden berechneten Post-Hoc-Tests lässt sich aus den Mittelwertvergleichen der signifikanten Interaktion erkennen, dass sich nach sechs Monaten die BMI-Werte bei adipösen Anfängern ( $p < 0,000$ ) und Fortgeschrittenen ( $p < 0,000$ ) signifikant verändern. Adipöse Anfänger reduzieren ihren BMI um 2,89 ( $\pm 0,32$ ) Punkte, was einer durchschnittlichen Gewichtsabnahme von 7,90 ( $\pm 5,4$ ) % entspricht. Adipöse Fortgeschrittene können den BMI um 1,08 ( $\pm 0,30$ ) Einheiten reduzieren. Dies entspricht einer Gewichtsreduktion von 3,3 ( $\pm 5,5$ ) %.

**Tabelle 9: Deskriptive Statistik der Veränderung des BMI (n=165)**

Faktor	Ausprägungen	BMI_1 (kg/m <sup>2</sup> )		BMI_2 (kg/m <sup>2</sup> )	
		MW	SD	MW	SD
Mitglied	Anfänger (n=62)	30,53	6,98	29,07	5,86
	Fortgeschrittene (n=103)	28,05	4,60	27,46	4,26
Geschlecht	Frauen (n=120)	28,65	6,15	27,70	5,29
	Männer (n=45)	29,86	4,31	29,04	3,85
BMI-Klasse	Normalgewicht (n=36)	22,84	1,50	22,62	1,84
	Präadipositas (n=71)	27,41	1,42	26,98	1,66
	Adipositas (n=58)	34,72	5,45	32,78	4,77
<b>Gesamt</b>		28,98	5,72	28,07	4,97

Die Ernährungsqualität der Teilnehmer liegt zum ersten Messzeitpunkt bei einem Index von 7,88 ( $\pm 4,39$ ). Nach sechs Monaten steigt der Index auf einen Wert von 8,53 ( $\pm 4,14$ ). Trotz der verschlechterten Ernährungsqualität liegt der Index der Gesamtstichprobe unter dem Richtwert für eine günstige Ernährung. Die Kovarianzanalyse errechnet keine signifikanten Veränderungen ( $F_{(1,152)}$ -Wert = 0,953,  $p = 0,331$ ). Bei den Essgewohnheiten erreicht die Stichprobe zum ersten Messzeitpunkt einen durchschnittlichen Gesamtwert von 19,76 (vgl. Tabelle 3). Nach sechs Monaten steigt der Wert um 0,23 ( $\pm 2,89$ ) Einheiten an. Die Untersuchung der Veränderung des Essverhaltens zeigt, dass für den Faktor Zeit ( $F_{(1,152)}$ -Wert = 0,086,  $p = 0,769$ ) keine signifikanten Unterschiede zwischen der ersten und zweiten Erhebung auftreten. Die Interaktion „Zeit x BMI-Klasse x Geschlecht“ ( $F_{(1,152)}$ -Wert = 2,347,  $p = 0,100$ ) beeinflusst die Veränderung des Essverhaltens nach sechs Monaten marginal. Somit ist die Veränderung des Essverhaltens abhängig von der BMI-Klasse und dem Geschlecht. An-

schließende Post-Hoc-Tests zeigen, dass sich das Essverhalten der Frauen mit Adipositas nach sechs Monaten signifikant verändert ( $p = 0,030$ ). Ausgehend vom mittleren Wert 19,40 ( $\pm 0,55$ ) verbessern sie ihre Essgewohnheiten um 1,32 ( $\pm 0,46$ ) Einheiten.

**Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Veränderung der Essgewohnheiten (n=165)**

Faktor	Ausprägungen	Essgewohnheiten_1		Essgewohnheiten_2	
		MW	SD	MW	SD
Mitglied	Anfänger (n=62)	19,71	2,96	20,52	3,62
	Fortgeschrittene (n=103)	19,79	3,68	19,67	3,73
Geschlecht	Frauen (n=120)	19,68	3,60	20,09	3,80
	Männer (n=45)	19,98	2,90	19,71	3,43
BMI-Klasse	Normalgewicht (n=36)	20,44	3,75	20,67	3,90
	Präadipositas (n=71)	19,63	3,48	19,61	3,81
	Adipositas (n=58)	19,48	3,10	20,03	3,43
<b>Gesamt</b>		19,76	3,41	19,99	3,70

Die deskriptive Betrachtung der Körperwahrnehmung zeigt, dass die Stichprobe zum ersten Messzeitpunkt einen durchschnittlichen Gesamtwert von 20,38 ( $\pm 3,88$ ) erreicht. Nach sechs Monaten ist eine minimale Veränderung in der Körperwahrnehmung zu erkennen ( $20,33 \pm 4,07$ ). Die inferenzstatistische Analyse weist nach, dass sich die Körperbewertung zwischen den Messzeitpunkten nicht verändert ( $F_{(1,152)}$ -Wert = 2,634,  $p = 0,107$ ).

Die Teilnehmer weisen bei der ersten Befragung eine durchschnittliche Selbstwirksamkeit von 3,56 ( $\pm 0,58$ ) auf, was im oberen Bereich des Intervalls liegt. Nach sechs Monaten reduziert sich die Selbstwirksamkeit auf 3,51 ( $\pm 0,66$ ), was jedoch nicht statistisch signifikant ist ( $F_{(1,147)}$ -Wert = 0,348,  $p = 0,556$ ).

**KiloCoach™**-Teilnehmer messen den wahrgenommenen gesundheitlichen Vorteilen mit einem mittleren Wert von 4,22 ( $\pm 0,89$ ) beim ersten Messzeitpunkt eine hohe Bedeutung bei (vgl. Tabelle 4). Die Relevanz des Gesundheitsaspektes nimmt in der Gesamtstichprobe nach sechs Monaten ab ( $4,20 \pm 0,87$ ). Die Kovarianzanalyse lässt während der sechs Monate keine signifikanten Änderungen erkennen ( $F_{(1,147)}$ -Wert = 1,527,  $p = 0,219$ ). Die Interaktion „Zeit x Geschlecht“ ( $F_{(2,147)}$ -Wert = 3,248,  $p = 0,042$ ) hingegen beeinflusst die Veränderung der Wahrnehmung der gesundheitlichen Vorteile nach sechs Monaten signifikant. Somit ist die Veränderung der wahrgenommenen Wichtigkeit des Gesundheitsaspektes abhängig von dem Geschlecht. Bei Männern ist zu erkennen, dass die gesundheitlichen Aspekte an Bedeutung gewinnen ( $p = 0,007$ ) (vgl. Tabelle 4). Die Literatur besagt, dass tendenziell Frauen in einer Gewichtsre-

duktion mehr Vorteile sehen als Männer und den Zusammenhang zwischen gesünderer Ernährung und verbessertem Gesundheitszustand stärker erkennen (Roberts et al. 1999, Turrell 1997). Das vorherrschende Motiv für eine Gewichtsabnahme der Männer in dieser Stichprobe ist die Reduktion gesundheitlicher Risiken. Angesichts dessen erscheint es plausibel, dass die Männer diesen Vorteilen während der Programmnutzung eine größere Bedeutung schenken und stärker wahrnehmen.

**Tabelle 11: Deskriptive Statistik der Veränderung der wahrgenommenen gesundheitlichen Vorteile (n=165)**

Faktor	Ausprägungen	Vorteile_1		Vorteile_2	
		MW	SD	MW	SD
<b>Mitglied</b>	Anfänger (n=62)	4,08	0,97	4,13	0,93
	Fortgeschrittene (n=103)	4,31	0,83	4,24	0,84
<b>Geschlecht</b>	Frauen (n=120)	4,18	0,95	4,17	0,93
	Männer (n=45)	4,06	0,92	4,56	0,58
<b>BMI-Klasse</b>	Normalgewicht (n=36)	3,94	1,10	4,07	0,93
	Präadipositas (n=71)	4,13	0,84	4,11	0,86
	Adipositas (n=58)	4,50	0,73	4,39	0,83
<b>Gesamt</b>		4,22	0,89	4,20	0,87

Die Wichtigkeit der wahrgenommenen Nachteile liegt bei der ersten Befragung bei einem durchschnittlichen Wert von 2,23 ( $\pm 0,62$ ). Nach der sechsmonatigen Programmnutzung werden die Nachteile einer Gewichtsreduktion von den Teilnehmern nahezu unverändert wahrgenommen ( $2,22 \pm 0,66$ ). Der geringe Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ist nicht statistisch signifikant ( $F_{(1,147)}$ -Wert = 0,006,  $p = 0,938$ ).

### Schlussfolgerung

Die Evaluation des Online-Programms brachte positive Ergebnisse hervor. Teilnehmer mit Adipositas erwirkten einen klinisch relevanten Gewichtsverlust. Adipöse Frauen konnten ihre Essgewohnheiten verbessern und bei Männern nahm die Wichtigkeit der wahrgenommenen gesundheitlichen Vorteile einer Gewichtsreduktion zu. Außerdem weisen die Teilnehmer in der Ernährungsqualität und Selbstwirksamkeit ein hohes Niveau auf. Die Ergebnisse lassen den Gewichtsreduktionsprozess noch genauer beschreiben und erklären, woraus sich Anhaltspunkte für die Ausrichtung des Online-Programms ergeben. Neben verhaltensbezogenen Parametern, wie die Verbesserung der Essgewohnheiten für Männer, sollten auch psychologische Inhalte, wie die Verbesserung der Kör-

perwahrnehmung oder die Reduktion der wahrgenommenen Nachteilen, ihren festen Platz im Online-Programm finden. Die sich daraus ergebenden vielfältigen Möglichkeiten zur Weiterentwicklung und Optimierung können langfristig zur Steigerung der Effektivität des Online-Programms beitragen.

## Literatur

- Abildso, C.; Zizzi, S.; Gilleland, D.; Thomas, J.; Bonner, D. (2010): A mixed methods evaluation of a 12-week insurance-sponsored weight management program incorporating cognitive-behavioral counseling. In: *Journal of Mixed Methods Research* 4, S. 278-294.
- Backholer, K.; Wong, E.; Freak-Poli, R.; Walls, H.L.; Peeters, A. (2012): Increasing body weight and risk of limitations in activities of daily living: A systematic review and meta-analysis. In: *Obesity Review* 13, S. 456-468.
- Chambers, J.A.; Swanson, V. (2006): A health assessment tool for multiple risk factors for obesity: Results from a pilot study with UK adults. In: *Patient Education and Counseling* 62, S. 79-88.
- Clark, M.M.; Abraham, D.B.; Niaura, R. (1991): Self-efficacy in weight management. In: *Journal of Consulting and Clinical Psychology* 59, S. 739-744.
- Deutsche Adipositas-Gesellschaft, Deutsche Diabetes Gesellschaft, Deutsche Gesellschaft für Ernährung und Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin (2014): Interdisziplinäre Leitlinie der Qualität S3 zur „Prävention und Therapie der Adipositas“.
- Karnehed, N.; Tynelius, P.; Heitman, B.L.; Rasmussen, F. (2006): Physical activity, diet and gene-environment interactions in relation to body mass index and waist circumference: The Swedish Young Male Twins Study. In: *Public Health Nutrition* 9, S. 851-858.
- Keller, S. (1998): Zur Validität des Transtheoretischen Modells – Eine Untersuchung zur Veränderung des Ernährungsverhaltens. Dissertation. Philipps-Universität Marburg.
- Legenbauer, T.; Vocks, S.; Betz, S.; Baguena Puigcerver, M.J.; Benecke, A.; Troje, N.F.; Ruddel, H. (2011): Differences in the nature of body image disturbances between female obese individuals with versus without a comorbid binge eating disorder: An exploratory study including static and dynamic aspects of body image. In: *Behavior Modification* 35, S. 162-186.
- Longin, R.; Grasse, M.; Aspalter, R.; Waldherr, K. (2012): Effectiveness of the online weight reduction program KiloCoach™ and comparison with other evaluated commercial direct intervention and online programs. In: *Obesity Facts* 5, S. 372-383.
- Löwe, B.; Clement, U. (1996): Der "Fragebogen zum Körperbild (FKB-20)" Literaturüberblick, Beschreibung und Prüfung eines Meßinstrumentes. In: *Diagnostica* 42, S. 352-376.
- Mensink, G.B.M.; Schienkiewitz, A.; Haftenberger, M.; Lampert, T.; Ziese, T.; Scheidt-Nave, C. (2013): Übergewicht und Adipositas in Deutschland. In: *Bundesgesundheitsblatt* 56, S. 786-794.
- O'Connell, D.; Velicer, W.F. (1988): A decisional balance measure and the stages of change model for weight loss. In: *The International Journal of the Addictions* 23, S. 729-750.
- Palmeira, A.L.; Teixeira, P.J.; Branco, T.L.; Martins, S.S.; Minderico, C.S.; Barata, J.T.; Serpa, S.O.; Sardinha, L.B. (2007): Predicting short-term weight loss using four leading health behavior change theories. In: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 4.

- Postrach, E.; Aspalter, R.; Elbelt, U.; Koller, M.; Schulzke, J.D.; Valentini, L. (2012): Effektivität eines Internet-basierten Programms zur eigenverantwortlichen Gewichtsreduktion: Eine Proof-of-principle Studie. In: Aktuelle Ernährungsmedizin 37, S. P5\_1.
- Postrach, E.; Aspalter, R.; Elbelt, U.; Koller, M.; Schulzke, J.D.; Valentini, L. (2013): Eigenverantwortliche Gewichtsreduktion mit und ohne Unterstützung durch ein Internet-basiertes Gewichtsreduktionsprogramm - Eine kontrollierte Interventionsstudie. In: Aktuelle Ernährungsmedizin 38, S. PP29.
- Prochaska, J.O.; DiClemente, C.C. (1982): Transtheoretical therapy: Toward a more integrative model of therapy. In: Psychotherapy: Theory, Research and Practice 19, S. 267-288.
- Puhl, R.M.; Moss-Racusin, C.A.; Schwartz, M.B. (2007): Internalization of weight bias: Implications for binge eating and emotional wellbeing. In: Obesity 15, S. 19-23.
- Roberts, S.J.; McGuinness, P.J.; Bilton, R.F.; Maxwell, S.M. (1999): Dieting behavior among 11-15-year-old girls in Merseyside and the Northwest of England. In: Journal of Adolescent Health 25, S. 62-67.
- Speakman, J.R. (2004): Obesity: The integrated roles of environment and genetics. In: The Journal of Nutrition 134, S. 2090-2105.
- Teixeira, P.J.; Silva, M.N.; Coutinho, S.R.; Palmeira, A.L.; Mata, J.; Vieira, P.N.; Carraça, E.V.; Santos, T.C.; Sardinha, L.B. (2010): Mediators of weight loss and weight loss maintenance in middle-aged women. In: Obesity 18, S. 725-735.
- Turrell, G. (1997): Determinants of gender differences in dietary behavior. In: Nutrition Research 17, S. 1105-1120.
- Warschburger, P. (2013): Adipositas - Konzeptuelle Beiträge der Psychologie. In: Report Psychologie 38, S. 105-111.
- Weinstein, P.K. (2006): A review of weight loss programs delivered via the Internet. In: Journal of Cardiovascular Nursing 22, S. 251-258.
- Westenhöfer, J. (2011): Internetbasierte Programme zum Gewichtsmanagement. Kann ein persönliches Beratungsgespräch ersetzt werden? In: Ernährungsumschau 4, S. 194-201.
- Wirth, A.; Hauner, H. (2013): Adipositas: Ätiologie, Folgekrankheiten, Diagnostik, Therapie. 4. Auflage, Berlin: Springer Verlag.

**Verleihung der Ehrendoktorwürde an Prof. Dr. Manfred Schwerin und zur  
Verleihung des H. Wilhelm Schaumann-Förderpreises an  
Dr. Gürbüz Daş**

**Laudatio auf den Preisträger**

Georg Thaller

Sehr geehrter Prof. Schwerin, lieber Manfred,  
sehr geehrte Frau Schwerin,  
Spektabilität Hartung,  
liebe Kolleginnen und Kollegen,  
liebe Gäste, werte Festgesellschaft,

wir haben uns heute versammelt, um einen herausragenden Nutztierwissenschaftler – und das betrifft nicht nur seine Körperlänge - mit der Verleihung der Doktorwürde „honoris causa“ gebührend zu ehren. Diese Ehrung ist nicht nur das Verdienst besonderer wissenschaftlicher Leistungen sondern auch der Ausdruck der Wertschätzung durch die A&E Fakultät, und wenn wir Dein jahrelanges Wirken betrachten, ja es ist auch – um im landwirtschaftlichen Kontext zu bleiben - die verdiente Ernte für Dein stetes Engagement zum Wohl der Tierzucht.

Mir ist die ehrenvolle Aufgabe zuteil geworden, ein Schlaglicht auf die wissenschaftliche Vita zu werfen, und das ist mir Freude und Verpflichtung zugleich.

Den Einstieg versuche ich .. etwas frei nach Schillers Glocke ..dort heißt es:

So lasst uns jetzt mit Fleiß betrachten  
Was durch des Geistes Kraft entspringt  
Den guten Menschen soll man beachten  
Bewundernd sehn was ihm gelingt  
Das ists ja was den Menschen zieret,  
Und dazu ward ihm der Verstand  
Dass er im innern Herzen spüret,  
was er erschafft mit seiner Hand

Manfred Schwerin wurde am 22. April 1950 in Klötze, Altmark als Spross einer alten sachsen-anhaltinischen Bauernfamilie geboren. Nach dem Abitur studierte er Biologie an der Universität Rostock, wo er 1975 sein Diplom an der Naturwissenschaftlichen Fakultät ablegte.

Seine wissenschaftliche Laufbahn begann er am Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock, sein Lehrer und Mentor war der angesehene Genetiker Professor Heiner Geißler. Mit der Dissertation zum Thema „Brunst-synchronisation und Selektion auf Fruchtbarkeit bei der Labormaus“ (verkürzter Titel) wurde er 1978 zum Dr. rer. nat. promoviert.

Die Arbeit wurde von der damaligen Akademie für Landwirtschaftswissenschaften der DDR mit dem Eilhard-Alfred-Mitscherlich-Preis ausgezeichnet.

Im Anschluss leitete Manfred Schwerin an der dortigen Abteilung für Genetik zuerst die Arbeitsgruppe „Zytogenetik“ und später die Arbeitsgruppe „Gentechnik“. 1986 wurde er zum wissenschaftlichen Abteilungsleiter befördert und 1988 in den Rat der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften aufgenommen. Es folgte im Jahr 1991 die Habilitation auf dem Gebiet „Genetik“ abermals an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock.

Nach der Wiedervereinigung wurde Manfred Schwerin die Leitung des Forschungsbereiches Molekularbiologie im neu gegründeten Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere Dummerstorf (FBN), dem heutigen Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, übertragen.

Im Jahre 1996 wurde er zum außerplanmäßigen Professor für Zyto- und Molekulargenetik der Haustiere und 2003 zum ordentlichen Professor für Tierzucht an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock berufen und gleichzeitig mit der Leitung des FBN Dummerstorf betraut.

Zahlreich und vielfältig sind die Arbeitsfelder seiner wissenschaftlichen Tätigkeit in diesen Jahren. Aus dem breiten Spektrum seien genannt:

- die chromosomale Erbfehlerdiagnostik beim Rind,
- die gendiagnostische Geschlechtsbestimmung bei Embryonen,
- die physische Genkartierung beim Rind,
- die Aufklärung der molekularen Grundlagen der Stressempfindlichkeit bei Rind und Schwein,
- der Nachweis merkmalsassoziierter Genvarianten der Eutergesundheit und Fruchtbarkeit beim Rind,
- sowie die Untersuchungen zur genetischen und epigenetischen Steuerung der Vererbung und Ausprägung komplexer Merkmale beim Nutztier.

Die chronologische Reihung demonstriert eindrucksvoll sein Gespür für die ‚hot topics‘ und Manfred Schwerin gehört damit ohne jeden Zweifel zu den Pionieren der molekularen Tierzucht in Deutschland.

Sehr früh hat Manfred Schwerin den Kontakt zu den westlichen Kollegen gesucht. Seinem engagiertes Mitwirken im ADR/BMBF-geförderten Verbundvorhaben „Genomanalyse Rind“ Ende der 1990-Jahre ist es zu verdanken, dass dieses Forschungsgebiet in Deutschland etabliert werden konnte. Er war Mitinitiator und maßgeblicher Ideengeber für das vom BMBF geförderte Forschungsprogramm „Funktionelle Genomanalyse im tierischen Organismus“ (FUGATO) im Jahre 2003, welches die wissenschaftlichen und logistischen Voraussetzungen für die erfolgreiche Einführung der „Genomischen Selektion“ beim Rind in Deutschland geschaffen hat.

Den meisten seiner Arbeiten ist ein der jeweiligen Zeit vorausschauender Charakter gemein. So ist es nicht von ungefähr, dass Manfred Schwerin mit dem BMBF Kompetenznetzwerk „PHÄNOMICS“ ein zukunftsweisendes nationales Fördervorhaben konzipiert und koordiniert hat. Die systembiologische Modellierung der Genotyp-Phänotyp-Abbildung im Kontext von Leistung, Gesundheit und Wohlbefinden liefert wichtige Beiträge zur Gestaltung einer tiergerechten Haltung und verbessert dadurch die Verbraucherakzeptanz der Nutztierhaltung.

Die Ergebnisse seiner umfassenden Forschungsarbeiten sind in mehr als 300 wissenschaftlichen Publikationen, davon etwa 200 referierte Originalarbeiten, dokumentiert und haben auf ihren jeweiligen Gebieten die Nutztierwissenschaften wesentlich bereichert.

Als Vorstand des Leibniz-Institutes für Nutztierbiologie Dummerstorf war er ab 2003 für die Neuausrichtung des FBN verantwortlich. Die strategische Positionierung, die Personalentwicklungsmaßnahmen sowie die konsequente infrastrukturelle Erneuerung des Institutes tragen seine Handschrift und haben wesentlich dazu beigetragen, dass dieser traditionsreiche Forschungsstandort - in Deutschland und darüber hinaus wieder wahrgenommen wird.

So heißt es in der Stellungnahme des Senatsausschusses Evaluierung der Leibniz-Gemeinschaft vom 09.07.2008: (ich zitiere) „ ... Mit seinem qualitativ hochwertigen Arbeitsprogramm und seiner sehr guten Infrastruktur ist das FBN für die Nutztierforschung in Deutschland von herausragender Bedeutung. Das Institut hat sich zu einem attraktiven Forschungsstandort entwickelt, von dem heute wichtige Impulse und innovative Ideen ausgehen. ... Die konsequente



und gelungene Neuausrichtung und Fokussierung des FBN ist insbesondere der Aufbauleistung und sehr überzeugenden Leitung durch den Direktor zu verdanken. Die Erfolge der durch ihn eingeführten Instrumente zur Leistungssteigerung und Arbeitseffizienz sind weithin sichtbar, dabei sind die entwickelten Entscheidungs- und Planungsstrukturen, die Maßnahmen in der Personalentwicklung und der Nachwuchsförderung beispielhaft. ...“

Manfred Schwerin war und ist in einer Reihe nationaler und internationaler Gremien tätig, so zum Beispiel stellvertretend für viele andere:

- im Exekutivkomitee der ‚International Society of Animal Genetics‘
- im Forschungs- und Technologierat Bioökonomie,
- im Vorstand der Bio-Con Valley GmbH,
- im Kuratorium der H. W. Schaumann-Stiftung,
- sowie im Rat für Agrarwissenschaften Mecklenburg-Vorpommern

Von 2004 bis 2012 war er zudem gewählter Fachkollegiat der DFG für das Fachgebiet Tierzucht und Tierhaltung.

Seit vielen Jahren engagiert er sich aktiv in den Redaktionskollegien der Zeitschriften „Archiv für Tierzucht“, „Journal of Animal Breeding and Genetics“ und „Journal of Applied Genetics“.

Als Hochschullehrer wirkte er sehr erfolgreich auf den Gebieten der Genetik und Molekularen Tierzucht nicht nur in Rostock, sondern auch an den Universitäten in Berlin, Halle und Kiel. Er verstand es, sein umfangreiches fachliches Wissen und komplizierte Zusammenhänge in sehr anschaulicher Weise zu vermitteln und allgemein verständlich darzustellen. Letzteres machte ihn auch zu einem geschätzten Tagungsredner im In- und Ausland.

Manfred Schwerin ist auf vielfältige Weise mit unserer Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät verbunden. In einer schwierigen Phase, in der bei der Berufung einer Professur für Molekulargenetik erhebliche Schwierigkeiten mit dem Wissenschaftsministerium auftraten, übernahm er als Gastdozent die entsprechenden Vorlesungen in den Sommersemestern von 1990 bis 1992. Die oben genannten Forschungsprojekte wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Tierzucht und Tierhaltung auf den Weg gebracht und erfolgreich durchgeführt. Die weitgefächerte Verbindung der beiden Einrichtungen wurde formell in einem Kooperationsvertrag dokumentiert. Es entstanden daraus eine Reihe weiterer gemeinsamer Forschungsprojekte verschiedener Institute der A&E Fakultät mit den assoziierten Forschungsbereichen des heutigen Leibniz-Instituts. So ist Manfred Schwerin stellvertretender Sprecher des

BMBF-Kompetenznetzwerks „FOCUS“, in dem Wissenschaftler aus Kiel und Dummerstorf eng zusammenarbeiten.

Fachkollegen und seine Mitarbeiter schätzen seine kritische Meinung, sein sehr realistisches Einschätzungsvermögen, seinen unermüdlichen und konstruktiven Arbeitseinsatz, sein Organisationstalent und seine Zielstrebigkeit. Mit diesen Eigenschaften ist es ihm gelungen, der Forschung immer wieder neue Impulse zu geben.

Die deutsche Nutztierwissenschaft hat die wertvollen Beiträge Manfred Schwerins zur Erforschung und Implementierung innovativer Verfahren in der Tierzucht sowie seinen enormen Einsatz bei der „Wiederbelebung“ des traditionsreichen Nutztierforschungsstandortes in Dummerstorf mit der Verleihung der Hermann von Nathusius-Medaille gewürdigt.

In der Gesamtsicht lässt sich ein Bogen spannen von exzellenter Wissenschaft über engagierte und durchdachte Wissenschaftsorganisation im eigenen Haus sowie in der Tierzucht-Community bis hin zur unmittelbaren Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Praxis. Das reflektiert den Anspruch unserer Fakultät, „beidfüßig“ (Science and Practise) aufgestellt zu sein. Dies erfordert allerdings eine gewisse Gelenkigkeit, um den Spagat auch zu stehen. Du hast es vorgelebt, sozusagen vorgeturnt und sowohl Pflicht als auch Kür mit Bravour gemeistert.

Lieber Manfred, ich darf Dir hier und jetzt persönlich ganz herzlich zur Ehrenpromotion gratulieren.

Wenn nicht Du, wer dann, wenn nicht jetzt wann dann (Vorlage an Dekan)

Enden möchte ich mit zwei Charakteristika die mit über die Jahre immer wieder aufgefallen sind:

Du warst immer Brückenbauer – als gelernter Baumeister im Umgang mit Stein und Mörtel hast Du diese Fähigkeit auch ins wissenschaftliche Umfeld übertragen und geschickt viele Kooperationen geschmiedet

und Du warst immer auch ein wenig (auf gut bayrisch) der ‚Spitzbub‘ – das möge Dir erhalten bleiben.

In diesem Sinne möchte ich Dir nochmals Dank aussprechen

- für Deinen Einsatz für die Tierzucht
- für Deine Dienste für unsere Fakultät
- und für Deine Kollegialität und ehrliche Freundschaft

Der Worte sind genug gesprochen, die Bühne ist nun Deine



Prof. Dr. G. Thaller

## Dankesworte

Manfred Schwerin

FBN Dummerstorf

Frau Vizepräsidentin Prof. Schwarz,  
Spectabilis Prof. Hartung,

Meine sehr verehrten Damen und Herren,  
Liebe Kolleginnen und Kollegen,

bevor ich den angekündigten Vortrag halte, möchte ich mich bedanken. Ich fühle mich durch die Verleihung der Ehrendoktorwürde durch die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sehr geehrt.

Zu allererst, möchte ich mich bei der Christian-Albrechts-Universität, der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät, ihren Gremien und allen Kolleginnen und Kollegen der Fakultät für diese besondere Ehre bedanken. Prof. Thaller danke ich für die überaus freundlichen Worte. Wie jede Laudatio war auch diese überzeichnet. Aber trotzdem, man hört lobende Worte sehr gern. Danke dafür. Es ist mir eine besondere Freude diese Auszeichnung von der Universität zu erhalten, der ich mich gefühlsmäßig besonders verbunden fühle.

Ich hatte die Gelegenheit, das Glück, die Christian-Albrechts-Universität als Dozent unmittelbar nach dem Mauerfall kennenzulernen. Damals gab es ja noch kein Internet, aber ich kann Ihnen bestätigen, alles womit Sie heute auf ihrer Webseite werben, habe ich auch tatsächlich empfunden:

- die Christian-Albrechts-Universität als eine weltoffene, moderne Landesuniversität, die nicht nur über verbundene Wissenschaftskulturen redet, sondern diese auch lebt und
- die wie kaum eine andere Universität in der Kultur und der Wirtschaft des Landes verwurzelt ist.

Die Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät macht ihrem Motto „Niemals müßig“ alle Ehre. Erich Kästner hatte ein ähnliches Motto „Es gibt nichts Gutes, außer man tut es!“ Ein klares Plädoyer für die hier Tätigen, es geht immer nur mit den handelnden Menschen.

Danke, dass ich diese Erfahrungen machen durfte. Hier in Kiel war, ist (?), zumindest nach außen, die Welt noch in Ordnung.

Ich werte diese besondere Ehrung auch als eine Bestätigung und Anerkennung der guten Arbeit der Mitarbeiter/innen meines Institutes in Dummerstorf, von

denen einige heute auch hier sind. Wissen Sie, es ist mir selbst eine Riesenfreude zu sehen, dass Dummerstorf wieder national und international wahrgenommen wird. Als ich 2003 die Leitung dieses Institutes übernommen habe, war nicht abzusehen, dass das Institut innerhalb so kurzer Zeit, gemessen am wissenschaftlichen ‚output‘, seine Leistungen verdrei- ja verfünffachen kann und es uns gelingen wird, natürlich mit Unterstützung der Zuwendungsgeber, eine Infrastruktur zu schaffen, die zumindest in Europa absolut konkurrenzfähig ist. Das wäre alles ohne meine mehr als 250 Mitarbeiter/innen nicht möglich gewesen, von denen ich meine Stellvertreterin Frau Prof. Kühn und die Institutsleiter Frau Dr. Metges, Prof. Maak, Prof. Reinsch und Dr. Vanselow besonders begrüße. Sie haben mitgemacht, manchmal natürlich auch mit Murren, und haben umgesetzt.

Deshalb gebührt ein wesentlicher Teil dieser Auszeichnung auch meinen Kollegen/innen in Dummerstorf. Und natürlich auch Frau Dr. Freifrau von Thiele-Winkler. Als ich mich vor nunmehr fast 12 Jahren aus Verzweiflung fragte, was hat Dich getrieben, Dich auf die Doppelposition Professur für Tierzucht an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock mit gleichzeitiger Leitung des FBN in Dummerstorf zu bewerben, da schickte mir Ihre Fakultät hier in Kiel, damals noch, Frau Dr. Antke-Elsabe Bugislaus, die mir an der AUF in Rostock wirklich den Rücken freigehalten hat. Danke dafür. Ich habe in meinem beruflichen Leben viel Glück gehabt. Glück, dass solche verantwortungsbewussten Menschen wie Prof. Diedrich Smith im Gründungskomitee oder die Prof. Karl Schellander und Prof. Sven Dänicke im Wissenschaftlichen Beirat unseres Institutes saßen bzw. sitzen. Ohne ihre Unterstützung wäre vieles anders gekommen.

Und ohne die Unterstützung unseres Aufsichtsrates, unseres Kuratoriums, wäre gar nichts möglich gewesen. Ich freue mich sehr heute hier den Vorsitzenden unseres Kuratoriums, Prof. Meinecke und die Mitglieder Dr. Buchwald, Dr. Dube, Dr. Polten und die Professoren Mohr und Schellander unter den Anwesenden zu sehen. Ich denke, es kommt nicht oft vor, dass ein in der Sache notwendiger Weise kritisches Aufsichtsgremium tatsächlich kritisch ist, sich aber offen für begründete Argumente zeigt und dass man sich dann 100%-ig auf die Unterstützung verlassen kann. Dafür möchte ich mich sehr bedanken.

Glück habe ich auch gehabt mit der Wissenschaftscommunity in welche ich nach der Wiedervereinigung gekommen bin. Es gab nie das Gefühl einer Zweiklassengesellschaft. Es gab zwar einen Nord-Süd- aber nie einen West-Ost-Konflikt und vom Nord-Süd-Konflikt spürt man heute auch nicht mehr so viel, hat es doch in der Zwischenzeit einen ziemlichen Austausch der Kulturen gegeben, wie man bei der Laudatio gehört hat. Dieses Zusammengehörigkeitsgefühl findet man nicht in vielen wissenschaftlichen Communities.

Einschließen möchte ich, nein muss ich, die Forschungsförderer. Stellvertretend für alle möchte ich mich bei der H. Wilhelm Schaumann-Stiftung bedanken, dessen Gesellschafter, Herr Charles Seiler, deren Vorstandsvorsitzenden, die Profs. Kalm und Breves, sowie das Kuratorium unter Leitung von Dr. Wilhelm Weisthoff heute hier sind. Ohne ihre Unterstützung wäre eine so schnelle Integration nicht möglich geworden.

Zum Schluss, möchte ich mich bei einigen wenigen Personen, die heute hier sind, besonders bedanken: Zum einem, bei den Emeriti Prof. Ernst Ritter und Prof. Peter Rommel. Als ich 1975 mit Chromosomenuntersuchungen bei den Nutztieren angefangen habe, dass ich inzwischen bei der DNA gelandet bin spielt da keine Rolle, war es Ernst Ritter, der als Schweinezüchter schon damals erkannte, wie wichtig es ist, sich mit den genetischen Grundlagen zu befassen und diese Richtung und mich damit sehr unterstützte.

Peter Rommel war der Leiter des Forscherteams, dem ich auch angehörte, das 1987 das erste transgene Kalb der Welt erzeugt hat. Diese Zusammenarbeit hat mir nicht nur gezeigt, dass man durch eine solche interdisziplinäre Kooperation Großes erreichen kann, sondern sie war auch meine Motivation, mich verstärkt mit der Genomaufklärung zu befassen, nämlich um die Konsequenzen derartiger Eingriffe besser zu verstehen.

Zum anderen möchte ich mich bei den Emeriti Prof. Peter Glodeck und Prof. Ernst Kalm bedanken. Es ist für mich eine besondere Freude und Ehre diese beiden, zu den größten deutschen Tierzuchtwissenschaftlern der Gegenwart zählenden Kollegen persönlich kennen gelernt zu haben und mit ihnen, ja man kann sagen, freundschaftlich verbunden zu sein. Peter Glodeck hat in einer Zeit wo viele ostdeutsche Wissenschaftler wie das Kaninchen vor der Schlange saßen, mir Zuversicht und Selbstvertrauen gegeben. Das war für mich persönlich sehr wichtig.

Ernst Kalm gab mir die Möglichkeit, sobald die Mauer offen war, mich in die Vorlesungstätigkeit zur „Molekularen Tierzucht“ hier an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel einzubringen. Das war zum beiderseitigen Vorteil und es hat Spaß gemacht, obwohl es auch schon zu der Zeit einen Wettbewerb zwischen den Dozenten, um die Studenten gab. Ich erinnere mich noch sehr gut daran, wie mich der inzwischen leider verstorbene Kollege Prof. Ernst, in einer Vorlesungspause vor dem Hörsaal fragte: „Na, wie viele Studenten haben Sie?“ Ich hatte dann offensichtlich eine konkurrenzfähige Zahl genannt, da er mich fast über den Haufen rannte, um sich selbst davon zu überzeugen. Und ich bin sehr dankbar, dass ich an der Seite von Prof. Kalm und etlichen anderen Kollegen wie Prof. Bennewitz, Prof. Erhardt oder Prof. Thaller und den deutschen Tierzüchtern, von denen ich Dr. Detmar Freese heute hier begrüße, die Genomforschung beim Nutztier in Deutschland soweit voranbringen konnte/durfte,

dass heute die deutschen Tierzuchtunternehmen auf Augenhöhe mit denen aus Amerika, Holland und Neuseeland sind.

Zu guter Letzt, möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Bei meiner Frau Wera, die mir sehr nachdrücklich zur rechten Zeit klar machte, dass das Leben nicht nur aus Wissenschaft besteht und dass man auch in die anderen Dinge des Lebens investieren muss und die mir das Leben lebenswert gemacht hat. Schön, dass es Dich gibt. Und schön, dass es Euch, Nannette und Michael, unsere Kinder gibt. Nannette ist heute hier. Ich hätte früher nie gedacht, dass mich Kinderlärm so stimulieren kann. Ich war in meiner gesamten wissenschaftlichen Karriere nie produktiver, als in den Zeiten in denen ich den Krach meiner/unserer Kinder gehört habe. Er hatte für mich etwas Beruhigendes und zugleich Stimulierendes.

Ich habe lange überlegt, wie ich jetzt den Übergang zu meinem Fachvortrag schaffe, da fiel mir das folgende Zitat von Mark Twain ein, der über seinen Vater sagte, ich zitiere:

„Als ich vierzehn war, war mein Vater so unwissend. Ich konnte den alten Mann kaum in meiner Nähe ertragen. Aber mit einundzwanzig war ich verblüfft, wie viel er in sieben Jahren dazugelernt hatte.“

Falls diese Erkenntnis noch nicht eingetreten sein sollte, hoffe ich dazu mit meinem Fachvortrag einen Beitrag leisten zu können.



von links: Prof. Hartung, Prof. Schwerin

# **Innovation Tierzucht und -haltung – die künftigen Herausforderungen für die Nutztierforschung**

Manfred Schwerin

Leibniz-Institut für Nutztierbiologie (FBN) Dummerstorf,  
Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf,  
und Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock

## **1. Die künftigen Herausforderungen für die Nutztierhaltung**

Die großen gesellschaftlichen Herausforderungen für die „Nutztierhaltung von morgen“ ergeben sich aus dem Spannungsfeld der auf der einen Seite erwarteten weltweit steigenden Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft (Godfray et al., 2010) und der auf der anderen Seite abnehmenden Akzeptanz der Nutztierhaltung in unserer Bevölkerung.

### ***Abnehmende Akzeptanz der Nutztierhaltung in unserer Gesellschaft***

Während in den Schwellen- und Entwicklungsländern Asiens und Afrikas ausschließlich die „Ernährungssicherung“ im Vordergrund steht, stellen in den Industriestaaten Europas und Amerikas die „gesellschaftlichen Forderungen“ die Haupttriebkraft der zukünftigen Entwicklung der Nutztierhaltung dar. Viele Bürger stehen den heutigen Produktionssystemen und Strukturen der Nutztierhaltung kritisch gegenüber (DAFA, 2012). Einerseits freuen sich viele Verbraucher darüber, dass ihnen eine breite Palette hochwertiger Lebensmittel zu niedrigen Preisen zur Verfügung steht, und sie kaufen entsprechend ein. Andererseits bringen viele Verbraucher in Umfragen zum Ausdruck, dass sie den heutigen Produktionssystemen und Strukturen der Nutztierhaltung ausgesprochen skeptisch gegenüberstehen. Großbestände, technisierte Produktionsverfahren, hohe Tierleistungen, Medikamenteneinsatz, das Amputieren von Körperteilen, regionale Konzentration sowie die Emissionen aus der Nutztierhaltung werden angeprangert. Bemerkenswert ist dabei, dass die Kritik vieler Menschen als Bürger in der gesellschaftlichen Diskussion relativ ausgeprägt ist, während sie ihre Einstellung als Konsumenten am Markt bisher nur bedingt zum Ausdruck bringen. Während es einen gesellschaftlichen Konsens zu den Leitbildern für die deutsche Landwirtschaft gibt, nämlich das Ideal des „bäuerlichen Familienbetriebes“ und der „nachhaltige Produktion“, besteht in Hinsicht der Zielvor-



stellungen und Wege gesellschaftlicher Dissens. Die beiden Pole lassen sich stichwortartig wie folgt beschreiben:

1. „Markt/Unternehmer/Intensivierung/Hochleistung/Technik/Großbetriebe“
2. „Gesellschaft/Bauer/Extensivierung/Tierwohl/Natur/Kleinbetriebe“.

Die Sympathien gehören überwiegend dem zweiten Pol, wirtschaftliche Realität und Kaufverhalten folgen eher dem ersten Pol.

Auch wenn dahinter die berechtigte Forderung der Bevölkerung und der Verbraucher steht, dass Nahrungsmittel nicht nur billig, sondern auch sicher sind und unter guten Umwelt- und Tierwohlbedingungen produziert werden, wird in den hoch entwickelten Ländern nach zwei Generationen ohne Nahrungsmangel die Agrarproduktion gesellschaftlich völlig anders wahrgenommen. In einer Studie der „Tierärzte ohne Grenzen“ wurden Schulkinder der ersten bis sechsten Klasse aus dem Raum Hannover und dem Raum Nairobi gebeten Nutztiere zu zeichnen. Davon abgesehen, dass die Kinder aus Kenia zum Buntstift griffen und die Kinder aus der Gegend Hannover zum Tuschkasten, malten lediglich knapp 15 Prozent der deutschen Kinder tatsächlich Nutztiere. Zum überwiegenden Teil wurden Hunde, Katzen, Wellensittiche und Delphine als Nutztiere gemalt. In Nairobi und Umgebung war das Verhältnis genau entgegengesetzt. Das spiegelt sich auch in der Wahrnehmung der Versorgung mit Lebensmitteln wider, die inzwischen als eine Selbstverständlichkeit hingenommen wird (Steaks „wachsen“ im Supermarkt!). Nutztierhaltung wird durch die Mehrheit der Bevölkerung nur noch im Zusammenhang mit hochemotionalen Auseinandersetzungen zu Problemen der Produktions- und Produktsicherheit (z.B. „BSE-Krise“, „Nitrofen-Skandal“, „Pferdefleischskandal“) oder des Tier- und Umweltschutzes (z.B. „Legehennenhaltung“, „Tiertransporte“) wahrgenommen.

Wesentliche Gründe dafür sind, dass das menschliche Verhalten vorwiegend emotional reguliert ist, obwohl meist rationale Begründungen für das eigene Verhalten gesucht und i.d.R. auch gefunden werden. Selbst ein auf den ersten Blick rational-ökonomisch basiertes Verhalten entpuppt sich als emotional, wenn ein Lebensmittel in einem Supermarkt in 20 km Entfernung eingekauft wird, weil es 20 Cent billiger ist. Die kommerzielle Werbung spricht grundsätzlich emotionale Motive an, auch wenn es dabei kognitiv-rational zu geht („*Ich bin doch nicht blöd!*“). Das Kausalitätsbedürfnis des Menschen, aber auch die hohe Wertschätzung der Gesellschaft des „vernünftigen Verhaltens“ führen dazu, dass jeweils rationale Begründungen für eigenes Verhalten gesucht (und gefunden) werden, die mit der primär emotionalen Entscheidung keinen Sinnzusammenhang bilden. So ist die Aussage vor dem Markt, man gebe mehr Geld für Biokost aus, ebenso „vernünftig“ wie der preiswerte Einkauf von normalen Produkten im Markt. Beide Entscheidungen sind emotional, nur in Abhängig-

keit der unterschiedlichen Situation auf „vernünftigen Eindruck“ getrimmt. So z.B. spielt der schlechte Ruf des Fleischsektors keine Rolle mehr, wenn es um das eigene Haustier geht. Mit ca. 1.060 kt pro Jahr verzehren unsere Haustiere eine Fleischmenge, die der Bruttoeigenerzeugung an Fleisch in Österreich entspricht.

Darüber hinaus werden Lebensrisiken überwiegend subjektiv bewertet. So z.B. hält die Mehrzahl der Verbraucher „Ernährung“ (Vitamine, Kalorien, Fett, dick werden) für gefährlich, während der emotional besetzte Begriff „Essen“ (Geschmack, Ambiente, Sattwerden) pure Lebensqualität ist. „Bekannte Risiken“ wie Autofahren, Skilaufen, Rauchen, Tauchen oder Salmonellen aktivieren kaum mehr Angstpotential, während „unabschätzbare Risiken“ wie bei AIDS, Gentechnik oder BSE erheblich überschätzt werden. Und der Verbraucher nimmt keine objektive Abwägung der Risiken vor. So z.B. wägt ein Lottospieler nicht ab, dass die ‚Chance‘ auf dem Weg zur Lottoannahme ermordet zu werden siebenfach höher ist als ein 6er-Tipp im Lotto. „Heute“ ist wichtiger als „Morgen“. Objektiv optimiert ein Kind seine Knochenfestigkeit durch ausreichenden Verzehr von Milch und Milchprodukten. Doch mit dem Ausspruch „*Kind, Du musst unbedingt Milch trinken, damit Du – wenn Du so alt bist wie Oma – keine Osteoporose bekommst!*“ wird man kaum das Kind motivieren, Milch zu trinken.

Aufgrund dieses stark emotional gesteuerten Verhaltens der Menschen ist es nicht verwunderlich, dass es kein einheitliches Bild einer ‚Nutztierhaltung von morgen‘ gibt, das erlauben würde, Strategien zu entwickeln, die Aussicht auf grundlegende Kurskorrekturen bieten. Unstrittig ist, dass das Themenfeld Tiergerechtheit, d.h. die Auswirkungen der Haltung auf das Verhalten, das Tierwohl und die Gesundheit der Nutztiere, einer verstärkten Aufmerksamkeit bedarf. So gibt es Indizien dafür, dass die Negativbewertung auch dann fortbestehen würde, wenn Großanlagen nachweisen könnten, dass sie bezüglich Tiergerechtheit, Tiergesundheit, Lebensmittelqualität und Umweltwirkungen besser abschneiden als kleinbäuerliche Familienbetriebe.

Unabhängig davon sind verlässliche ordnungs- und förderpolitische Rahmenbedingungen Grundvoraussetzung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der Nutztierhaltung. Erschwerend könnte sich diesbezüglich die offensichtlich zunehmende „Ideologisierung“ der Nutztierhaltung auswirken, denn, wenn ein Thema zu einem Wahlkampfthema einer Partei wird, haben es inhaltsbezogene Argumente schwer.

### Ein erstes Resümee:

Die z.T. berechtigte kritische Haltung vieler Bürger gegenüber den heutigen Produktionssystemen und -strukturen der Nutztierhaltung, die „Ideologisierung“ der Nutztierhaltung sowie neue Rechtsgrundlagen und -vorschriften (z.B. Verbandsklagerecht) führen zu:

- unsicheren und nicht planbaren politischen Rahmen- sowie Förderbedingungen und damit zu unsicheren Betriebserlösen,
- ein aufgrund der hohen Investitionskosten sehr hohes unternehmerisches Risiko für ‚Neueinrichter‘ und zur
- zwingenden Forderung Tierwohl und Tiergesundheit sowie Natur- und Umweltschutz als akzeptierte Leitbilder einer nachhaltigen Nutztierhaltung umzusetzen.

Die Nutztierhaltung von morgen ist, wenn überhaupt, nur im gesellschaftlichen Dialog zu gestalten!

### ***Globale Ernährungssicherung die Herausforderung des 21. Jahrhunderts***

Nach Schätzungen der FAO (2006) wird die weltweit wachsende Bevölkerung und der zunehmende Wohlstand in den Schwellenländern zu einer Verdopplung der Nachfrage nach Lebensmittel tierischer Herkunft bis zum Jahr 2050 führen. Die Nutztierhaltung in Deutschland und der EU ist dabei Teil eines weltweit vernetzten prosperierenden Wirtschaftssektors, welcher durch einen rasanten Strukturwandel, differenzierter werdende Verbraucheransprüche und sich drastisch ändernde Rahmenbedingungen gekennzeichnet ist (Schwerin *et al.*, 2010, Charta für Landwirtschaft, 2012, DAFA, 2012, Animal Task force, 2013). Seit Jahrzehnten läuft der Strukturwandel weltweit und relativ gleichmäßig mit sich verstetigenden Trends ab: der Spezialisierung, des Ausscheidens kleinerer und der Vergrößerung der verbleibenden Betriebe, einer zunehmenden vertikalen Integration und einer regionalen Konzentration. Der Strukturwandel wird dabei offenbar von den agrarpolitischen Ereignissen kaum beeinflusst. So z.B. sank die Anzahl der Betriebe mit Milchviehhaltung bei annähernd gleicher Milchproduktion trotz Einführung der Gemeinsame Agrarpolitik in der EU in den 50-er Jahren und der Milchquote in den 80-er Jahren kontinuierlich von 1.365.000 Betrieben im Jahre 1955 auf 85.000 Betriebe im Jahre 2012. Die wesentliche Triebkraft dieser Entwicklung ist die Einbindung der Tierzucht und Tierhaltung in das marktwirtschaftliche System. Durch den zunehmenden wirtschaftlichen Druck zu Intensivierung und Produktivitätssteigerung (steigende Nachfrage, abnehmende Ressourcen), aber auch durch das überwiegend preisorientierte

Kaufverhalten der Verbraucher laufen die bestehenden Trends weiter. Angemerkt sei, dass jene Landwirte, die in diesem Wettbewerb nicht mithalten konnten bzw. mitmachen wollten und deshalb ihre Betriebe aufgaben, den Strukturwandel weniger positiv beurteilen und die eigentlichen Leidtragenden dieses Strukturwandels sind.

Dennoch hat die Nutztierhaltung ihre Produktion weltweit gesehen in den vergangenen 50 Jahren mehr als verdoppelt. Das Wachstum fand dabei überwiegend in Regionen außerhalb Europas statt, mit höchsten Steigerungsraten in Asien und Südamerika (Schwerin et al., 2010, Charta für Landwirtschaft, 2012, DAFA, 2012, Animal Task force, 2013). Deutschland verfügt aber im internationalen Vergleich über relativ günstige natürliche Bedingungen und über eine hochproduktive Nutztierhaltung, deren Wachstum gemessen an den globalen Wachstumsraten zwar relativ gering, allerdings deutlich höher als in den meisten anderen EU-Ländern ist.

Die Nutztierhaltung steht vor der großen Herausforderung unter den Bedingungen einer abnehmenden Ressourcenverfügbarkeit, sich ändernder Verbraucheransprüche (diversifizierende Bevölkerungsentwicklung, Verbraucherakzeptanz) und differenzierter werdender Produktionsbedingungen, wie Flächenkonkurrenz, Klimawandel und Globalisierung, mehr Lebensmittel zur Deckung einer weltweit steigenden Nachfrage nachhaltig zu erzeugen. Mit etwa 15 % der in den Industrieländern gehaltenen Welttierbestände werden gegenwärtig weltweit mehr als die Hälfte des essbaren Proteins tierischer Herkunft erzeugt. Im Gegensatz dazu erzeugen die 70 % der Welttierbestände, die in den Ländern mit mehr als 20 % der Bevölkerung mit Unterernährung gehalten werden, lediglich 25 % des essbaren Proteins tierischer Herkunft. Das Szenario zugrunde legend, dass von den im Jahre 2050 erwarteten 8 Mrd. Menschen 2 Mrd. mit 60 g und 6 Mrd. mit 20 g tierischem Protein je Tag und Kopf versorgt werden, müsste bei gleichbleibender Produktion in den Industrieländern die Produktion in den Entwicklungs- und Schwellenländer um das mehr als das Dreifache gesteigert werden bzw. anderswo in der Welt zusätzliche landwirtschaftliche Flächen bereit gestellt werden (Flachowsky et al., 2008). Die hochproduktive Nutztierhaltung der Industrieländer besitzt deshalb auch zukünftig große Bedeutung bei der Deckung der weltweit erwarteten gesteigerten Nachfrage nach tierischen Nahrungsmitteln, obwohl die Bevölkerungszahlen in diesen Ländern selbst voraussichtlich stagnieren bzw. rückläufig sein werden. Die Bundesregierung hat diesen gesellschaftlichen Herausforderungen Rechnung getragen und die „*weltweite Ernährungssicherheit*“ und die „*nachhaltige Agrarproduktion*“ in den Mittelpunkt der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ (BMBF, 2010) gestellt.

Unter Beachtung der sich verändernden sozialen, ökonomischen und ökologischen Bedingungen kann im Jahre 2050 weltweit nur dann eine die Ansprüche deckende Menge an Lebensmitteln tierischer Herkunft erzeugt werden, wenn es gelingt, neue Methoden und Verfahren mit einem sehr hohen Innovationspotential zu entwickeln und unter Beachtung der differenten regionalen bzw. territorialen Wertschöpfungs- und Entwicklungspotentiale in die praktische Anwendung zu überführen, die globale Ernährungssicherung als eine fächerübergreifende, gesamtgesellschaftliche und internationale Herausforderung zu verstehen und gleichzeitig eine nachhaltige Änderung der Ernährungsgewohnheiten sowohl in den Industrienationen als auch in den Entwicklungs- und Schwellenländern zu erreichen. Wir brauchen mehr Invention und Innovation.

#### Ein zweites Resümee:

- In den Industrieländern haben züchterischer Fortschritt, höhere Ressourcenverfügbarkeit und neue wissenschaftliche Erkenntnisse zum Nährstoffbedarf die tierischen Leistungen erheblich ansteigen lassen, und damit zu einer vorher nie gekannten Versorgung mit Lebensmitteln tierischer Herkunft geführt.
- Globale Ernährungssicherung heißt insbesondere Ernährungssicherheit in den Entwicklungsländern, d.h. Steigerung der dortigen Erzeugung.
- ABER: Die hochproduktive Nutztierhaltung der Industrieländer besitzt auch zukünftig große Bedeutung bei der Deckung der weltweiten Nachfrage nach tierischen Nahrungsmitteln (trotz stagnierender bzw. abnehmender Bevölkerung).
- Bei stagnierender Produktion in den Industrieländern müsste die Produktion in den Entwicklungs- und Schwellenländern um das mehr als 3-fache gesteigert, was nicht realistisch ist, bzw. anderswo in der Welt zusätzliche landwirtschaftliche Fläche, die ohne Landnutzungsänderung nicht verfügbar ist, bereit gestellt werden.
- Ohne *nachhaltige Intensivierung* kann die weltweit erwartete steigende Nachfrage nicht gedeckt werden!

„Es ist verrückt, die Dinge immer gleich zu machen  
und dabei auf andere Ergebnisse zu hoffen.“  
Albert Einstein

## **2. Zukünftige Herausforderungen für die Nutztierforschung – Innovation Nutztierzucht und -haltung**

Das zentrale Thema im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung bleibt grundsätzlich die Effizienz im Umgang mit den knapper werdenden natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser, Energie und verschiedenen weiteren Rohstoffen (z.B. Phosphor). Bei begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen ist dabei von besonderer Bedeutung, dass die letztlich benötigten Flächen entscheidend von der Höhe der Pflanzenerträge und der Leistungen der Tiere und damit von der *ressourceneffizienten Erhöhung der Flächenproduktivität* abhängen. Vor dem Hintergrund sich ändernder und diversifizierender Verbraucheransprüche (alternde Bevölkerung, Akzeptanzprobleme), sich verändernder und differenzierter werdender Produktionsbedingungen (Klimawandel, Standortbedingungen) und bestehender natürlicher Grenzen Effizienzsteigerung (Ertrags- und Leistungsniveaus, verfügbare Flächen) bildet die *biologische Vielfalt* ein wesentliches Potential für die künftige bedarfsgerechte (Qualität, Quantität) Erzeugung von biobasierten Rohstoffen. Dabei ist grundsätzlich zu beachten, dass das Leitprinzip einer der Zukunft verpflichteten Nutztierhaltung nur ein ganzheitlich *nachhaltiges Wirtschaften* sein kann.

### ***Ressourceneffiziente Erhöhung der Flächenproduktivität***

Weltweit gesehen wird der Flächenbedarf für die Erzeugung von Futter den für die Erzeugung von pflanzlichen Lebensmitteln für den Menschen beträchtlich übersteigen (FAO, 2006). Hochrechnungen zeigen, dass bei gleichem Intensitätsniveau die zur Verfügung stehende Ackerfläche nicht ausreichen wird, um eine entsprechende Futtermenge für die Nachfrage deckende Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft bereitstellen zu können (Flachowsky et al., 2008). Bei begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen ist von besonderer Bedeutung, dass die letztlich benötigten Flächen entscheidend von der Höhe der Pflanzenerträge und der Leistungen der Tiere und damit von der *ressourceneffizienten Erhöhung der Flächenproduktivität* abhängen (Taube et al., 2006). Dies impliziert, dass bei zu erwartender Flächenkonkurrenz (nachwachsende Rohstoffe, Energiepflanzen, Bioreservate etc.) die zukünftige, den Bedarf deckende Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft nur dann möglich ist, wenn es gelingt, einen höheren Flächenertrag bei der Futterproduktion und eine ressour-

censhonende Leistungssteigerung in der Tierproduktion zu erreichen (Niemann et al., 2011).

Auf Grund der gegenwärtig sehr hohen Verluste entlang der Wertschöpfungskette ‚Futterbau – Nutztierhaltung – Ernährungsindustrie – Reststoffverwertung‘ besteht weiterhin in der Steigerung der Ressourceneffizienz entlang dieser Wertschöpfungskette ein großes Potential der ressourceneffizienten Erhöhung der Flächenproduktivität. Durchschnittlich sind für die Erzeugung von 1 cal. tierischen Proteins etwa 10 cal. pflanzlichen Proteins aufzuwenden. In Abhängigkeit vom betrachteten Produktionssystem liegt die Ressourceneffizienz der Wertschöpfungskette ‚Tierische Lebensmittel‘ zwischen 2,5 und 9,0 % (s. Abb. 1). Derzeit gelangen nur ein Fünftel des aus dem Gestein abgebauten Phosphors über das Ackerland in unsere Nahrung und der Großteil des prozessierten Phosphors geht durch das fehlende bzw. begrenzte Recycling von z.B. Tiermehl, Fäkalien oder Klärschlämmen verloren. Abnehmende Wasservorräte in vielen Teilen der Welt, auch in Europa (weltweit werden 70 Prozent der Wasserentnahmen für die Bewässerung von Agrarprodukten aufgewendet), werden neben steigenden Kosten zu einer schlechteren Produktqualität oder einer geringeren Verfügbarkeit an Rohmaterialien entlang der Wertschöpfungskette führen.

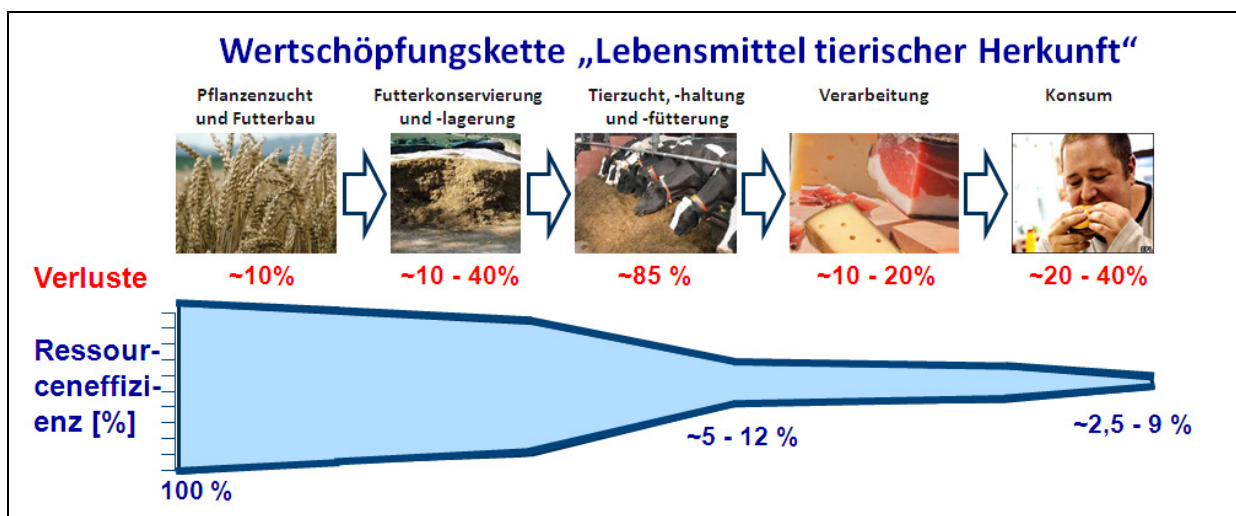


Abbildung 1: Ressourceneffizienz entlang der Wertschöpfungskette ‚Lebensmittel tierischer Herkunft‘ (Von-Bis-Angaben ergeben sich aus den unterschiedlichen Produktionssystemen).

Weitere Schätzungen weisen darauf hin, dass heute etwa die Hälfte der Lebensmittel bereits verloren geht, bevor sie den Privathaushalt erreichen (Matern, 2009; FAO, 2011). Die Gründe dafür liegen unter anderem in der Verrottung bereits auf dem Feld und Vernichtung durch Schädlinge sowie Tierseuchen, im ineffizienten Management der Zulieferketten zum Lebensmitteleinzelhandel,

Schwachstellen im Kühlkettenmanagement sowie in unzureichenden lokalen Infrastrukturen in den Herkunftsländern Asiens, Afrikas und Südamerikas. Daher sind neue Methoden und Verfahren mit einem sehr hohen Innovationspotential mit dem Ziel zu entwickeln bzw. weiter zu entwickeln, die Effizienz im Umgang mit den natürlichen Ressourcen in allen Bereichen der Nahrungskette zu steigern („Mehr von Weniger!“, Animal Task force (2013)). Dabei geht es neben der möglichst effizienten Erzeugung der Lebensmittel zum einen um den schonenden Umgang mit den begrenzt verfügbaren Ressourcen und zum anderen um die bei Nutztieren im Zusammenhang mit der unvollständigen Umwandlung von Futter entstehenden umwelt- und klimarelevanten Ausscheidungen wie die von Methan oder die mit Harn und Kot ausgeschiedenen Elemente Phosphor und Stickstoff. Die globale Herausforderung, mehr und gleichzeitig qualitativ hochwertige, sichere Futter- und Lebensmittel unter der Berücksichtigung der Nachhaltigkeit zu produzieren, erfordert demnach Forschungsansätze und Managementstrategien, die eine Gesamtbetrachtung und Vernetzung aller Glieder und Akteure der Futter- und Lebensmittelketten im internationalen Kontext sichern. Die Qualitätswissenschaften als Querschnittsdisziplin können in diesem Zusammenhang einen wesentlichen Beitrag zu einer verantwortungsvollen und nachhaltigen Erzeugung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs.

Neue Methoden und Verfahren mit einem sehr hohen Innovationspotential sind mit dem Ziel zu entwickeln und in die praktische Anwendung zu überführen, welche die Erträge, Leistungen und Ressourceneffizienz in sektorübergreifenden integrativen Ansätzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette in einem bisher nicht bekannten Maße nachhaltig steigern (nachhaltige Intensivierung). Einen innovativen Lösungsansatz stellt die *Sektor übergreifende Zusammenführung innovativer Konzepte* aus Pflanzenbau und -züchtung, Futterlagerung und Futtermittelerzeugung (neue Futterkonservierungs- bzw. -zusatzstoffe wie regionale heimische Pflanzenstoffe), Tierzucht, -haltung und -fütterung („precision livestock breeding“, „targeted farm animal nutrition“, „smart livestock farming“) dar. Dieser Ansatz strebt an, den Futterwert von Pflanzen und die Bedarfe von Tieren genauer zu diagnostizieren, zielgerichtet Futterpflanzen z.B. mit geringen Ansprüchen und hohem Futterwert zu züchten, die Lagerverluste von Futtermitteln zu verringern, auf der Grundlage heimischer Pflanzen neuartige Futterzusatzstoffe zu schaffen, innovative Tierhaltungsverfahren z.B. unter Verwendung von Sensoren zur Erfassung tierindividueller Indikatoren des Tierwohls und der Tiergesundheit zu entwickeln, robuste, anpassungs- und leistungsfähige Tiere mit hoher Futtermittelnutzung zu züchten und eine möglichst bedarfsgerechte "individualisierte" Fütterung abzuleiten. Eine bedarfsgerechte Fütterung verspricht eine verbesserte Futterwirksamkeit bei gleichzeitig hoher Tiergesundheit und geringeren Umwelt- und Klimawirkungen.



### ***Sicherung und Nutzung der biologischen Vielfalt***

Vor dem Hintergrund sich ändernder und diversifizierender Verbraucheransprüche Produktionsbedingungen bildet der Erhalt und die Nutzung der biologischen Vielfalt, als „Rohstoff“ der Züchtung, das wesentliche Potential für die Gestaltung einer nachhaltigen zukunftsfähigen Nutztierhaltung, den Erhalt der Kulturlandschaften und die Entwicklung des ländlichen Raumes. Ständig neue Lebensmittelkreationen ermöglichen den Verbrauchern/innen zwar eine große Auswahl, diese wird aber mit immer weniger Pflanzensorten und Tierrassen produziert. So werden z.B. in Deutschland 95 % der tierischen Produktion mit nur 11 der insgesamt mehreren hundert Nutztierassen erzeugt und weltweit werden mit drei Kulturpflanzen (Weizen, Reis, Mais) 50 % des Kalorienbedarfs der Menschen gedeckt. Die Folge ist, dass immer mehr Nutztiere und -pflanzen aussterben. Allein im Tierbereich sind weltweit in den letzten hundert Jahren 1.000 der anerkannten 6.400 Nutztierassen ausgestorben, 300 davon in den vergangenen 30 Jahren. Deshalb kommt dem *Erhalt und der Nutzung der Sorten- und Rassenvielfalt* für notwendige züchterische Fortschritte angesichts der zukünftigen Herausforderungen (Klimawandel, veränderte Standortbedingungen) als Schutz gegen Missernten, Schädlings- und Krankheitsanfälligkeit sowie als Potential für die langfristige Deckung der global steigenden Nachfrage nach biogenen Rohstoffen eine besondere Bedeutung zu. Es ist deshalb wichtig, die noch vorhandenen genetischen Ressourcen zu erfassen und zu charakterisieren sowie Strategien zu ihrer Erhaltung zu entwickeln. Die Nutzung genetischer Ressourcen von Pflanzen und Tieren in der Züchtung ist eine der nachhaltigsten Methoden zur Erhaltung wertvoller genetischer Ressourcen für die Zukunft und die gleichzeitige Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion. Kleine gefährdete Rassen bilden eine Möglichkeit für den Erhalt der tierischen Produktion an Grenzstandorten.

Zudem können neue Arten mit Eigenschaften, die sich für die Nutzung in der Bioökonomie eignen, die Artenvielfalt der landwirtschaftlich genutzten Arten erweitern. *Alternative Tierarten* könnten zukünftig als neue Nahrungsquellen für den Menschen eine Rolle spielen. Die Aquakultur ist momentan weltweit gesehen der am schnellsten wachsende Nahrungsmittel produzierende Sektor. Neben der Aquakultur besitzen bisher nicht oder wenig genutzte Tierarten wie z.B. Insekten (FAO, 2013) ein großes Potenzial für die Ernährungssicherung der Menschen und für die Futtermittelversorgung der Tiere, das noch nicht genügend genutzt wird. Insgesamt sind inzwischen ca. 1.900 Insektenarten als essbar gelistet. Von besonderem Vorteil soll sein, dass z.B. insektenbasierte Lebensmittel wesentlich effizienter erzeugt werden können. So produzieren Insekten pro Kilogramm Futter 12-mal so viel Nahrung wie Rinder und 5-mal so viel wie Schweine.

Darüber hinaus können variierende landwirtschaftliche Nutzungsformen wesentlich die Biodiversitätsfunktion natürlicher und naturnahe Ökosysteme beeinflussen (*Ökosystembiodiversität*). So z.B. wird im Bereich der Futterproduktion für die Milchviehhaltung die Artenvielfalt von Grünlandgesellschaften, die eine außerordentlich bedeutende Habitatfunktion für faunistische Diversität erfüllen, entscheidend durch die Landnutzung beeinflusst, denn durch Landnutzungsänderung (Grünlandumbruch) geht in erheblichem Maße genetische Vielfalt z.B. beim wichtigsten Futtergras Deutsches Weidelgras verloren. Auch in aquatischen Ökosystemen kann die Biodiversitätsfunktion durch variierende Nutzungsformen beeinflusst sein. So bieten z.B. konventionelle Teichwirtschaftssysteme neben der wirtschaftlichen Nutzung auch Lebensraum für geschützte Arten wie Rotbauchunke, Laubfrosch, Eisvogel, Fischotter, während bei geschlossenen Kreislaufsystemen in der Aquakultur diese aquatische Ökosystemfunktion entfällt. Für den Erhalt der Biodiversität - auch außerhalb von Agrarökosystemen - wird es bei steigendem Bedarf an biobasierten Rohstoffen darauf ankommen, durch eine ‚*nachhaltige Intensivierung*‘ der Produktion auf vorhandenen Agrarflächen die Flächenausdehnung der landwirtschaftlichen Produktion zu beschränken und dadurch Raum für Naturflächen zu belassen, um so die Biodiversität zu schützen und zu erhalten.

### ***Nachhaltiges Wirtschaften als Leitprinzip der zukünftigen Nutztierhaltung***

Eine nachhaltige Nutztierhaltung (rentabel, tiergerecht, ressourcen-, umwelt- und klimaschonend) ist entscheidend für ihre Zukunftsfähigkeit, wobei die gesellschaftliche Akzeptanz zunehmend an Bedeutung gewinnt. Neben der weiteren züchterischen Verbesserung der quantitativen und qualitativen Eigenschaften, der verbesserten Ausschöpfung der Leistungsveranlagung und der Zucht von Tieren mit optimaler Eignung für bestimmte Produktionssysteme kommt der Optimierung und Diversifizierung wettbewerbsfähiger standort- und bedarfsspezialisierter Produktionsverfahren besondere Bedeutung zu.

Dabei wird die Vielfältigkeit alternativer Nutzungsoptionen, die Vielzahl monetärer und nicht monetärer Sekundärleistungen einzelner Landnutzungsformen und vor allem die aus Struktureichtum und Änderung bzw. den Effekten dieser resultierende biologische Vielfalt in von Menschen genutzten Kulturlandschaften eine *sektoral übergreifende Betrachtung* von Wertschöpfungsketten oder ländlichen Räumen erfordern. Entsprechend des ganzheitlichen Nachhaltigkeitsgedankens sind hierfür Instrumente zu entwickeln und anzuwenden, die im Hinblick auf die erforderlichen Veränderungen geeignet sind, soziale, ökologische und ökonomische Folgen des Handelns vorherzusagen, divergierende Interessen auszugleichen und die Wirkung alternativer Nutzungsoptionen auf die Kulturlandschaften zu beschreiben.

Darüber hinaus sind sogenannte „neue“ Wachstumsparadigmen zu berücksichtigen, die als wichtiger Baustein einer langfristig ökologisch nachhaltigen Entwicklung aktuell intensiv diskutiert werden. Aspekte der Suffizienz beziehen sich z.B. auf material- und ressourcenschonende Lebensstile (s.a. Abb. 2) im Sinne einer nachhaltig orientierten Verhaltensforschung (Woitowitz, 2007), die weit über den Status Quo einer angewandten Forschung des Verbraucherverhaltens hinausgehen. Dabei ist u.a. von Interesse, welche Konsequenzen sich aus wandelnden Konsummustern und Produktpräferenzen ergeben. Neben einer Verminderung des Ressourcenverbrauchs ist die Reduzierung anthropogener Belastungen des Naturhaushalts eine wichtige Zukunftsaufgabe der Forschung.

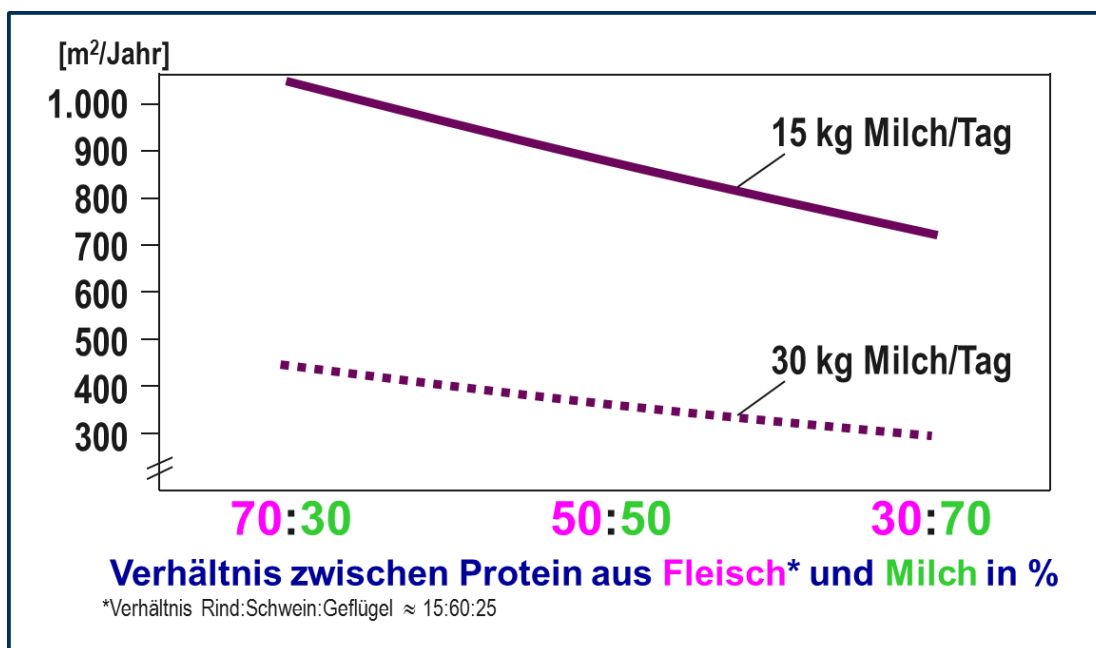


Abbildung 2: Flächenbedarf zur Erzeugung von Protein tierischer Herkunft (40 g/Tag) in Abhängigkeit von der Proteinquelle (Verhältnis Fleisch zu Milch) und der tierischen Leistung (15 bzw. 30 kg Milch je Tag und Kuh) (nach Flachowsky et al., 2008)

Allerdings mehren sich bei systemischer Betrachtung der Wertschöpfungskette die Hinweise darauf, dass die Verbesserung bestimmter öffentlicher Schutzgüter nur bei Verschlechterung (oder des Verlustes) anderer Schutzgüter dieses komplexen Produktionssystems erreichbar ist. Diese nachfolgend exemplarisch zusammengefassten Anforderungen bzw. Zielkonflikte (s.a. Schwerin et al., 2010, Nkrumah et al., 2006) resultieren bereits spürbar in einer Nachfrage nach neuen Produktionsflächen und -technologien und zunehmenden Unsicherheiten bei Entscheidungsprozessen. Umfängliches und multi-disziplinär erarbeitetes Wissen muss jetzt genutzt und gezielt ergänzt werden, um den vielfältigen Forderungen einer nachhaltigen Entwicklung ländlicher Räume auch zukünftig ge-

recht werden zu können, neue Risiken zu minimieren, Zielkonflikte zu identifizieren sowie Nutzungsfolgen abschätzen und ganzheitliche, hierarchisch gegliederte Zielkomplexe ableiten zu können:

1. *Hohe tierische Leistung contra Tiergesundheit und Verbraucherakzeptanz*

Es ergibt sich aus den biologischen Grundlagen des Stoffwechsels der Tiere, dass die Produktion mit ansteigender Leistung bis zu einer optimalen Intensität effizienter wird. Der züchterische Fortschritt und das bessere Wissen über den Nährstoffbedarf der Tiere haben z.B. die Milchleistungen der Kühe im vergangenen Jahrhundert um ein Mehrfaches ansteigen lassen. Mit steigender Milchleistung und zunehmender metabolischer „Beanspruchung“ muss auch das Wissen des Tierhalters mit wachsen. Ansonsten sind vermehrte Beeinträchtigungen der Gesundheit und Fruchtbarkeit vorprogrammiert.

2. *Tierische Leistung – Klimaschutz contra nachhaltige Landnutzung*

Während die Ausscheidungen je Tier mit steigender Leistung ansteigen, verringern sie sich bezogen auf die Produktmenge, da sich die auf den unproduktiven Erhaltungsbedarf entfallenden Ausscheidungen auf eine größere Produktmenge verteilen. Dem steht direkt gegenüber, dass Wiederkäuer in der Lage sind, aus vegetativen Pflanzenbestandteilen, die von Nichtwiederkäuern und vom Menschen nicht genutzt werden, Milch und Fleisch zu erzeugen. Weltweit stehen 3,3 Mrd. ha Grasland zur Verfügung, die nur von Wiederkäuern genutzt und somit für die menschliche Ernährung erschlossen werden können. Die für hohe tierische Leistung erforderliche hohe Energiedichte des Futters führt im Zusammenhang mit der geringen Energiedichte von Grünlandfutter neben erhöhten tierischen Treibhausgasemissionen zu weiteren Zielkonflikten.

3. *Landnutzungsänderungen contra Ökosystemfunktionen*

Der Anspruch an energiereiche Futterrationen zur Absicherung einer leistungsgerechten Fütterung hat zu erheblichen Landnutzungsänderungen geführt. Die weltweiten Implikationen dieser Entwicklung im Hinblick auf Flächennutzungsänderungen sind an der Zunahme intensiv genutzten Ackerlandes in Südamerika in Verbindung mit dem Verlust an natürlichen Ökosystemen (Rodung des Regenwaldes, Umbruch natürlichen Graslandes) zu erkennen.

4. *Produktionsintensität contra Nahrungsmittelkonkurrenz*

Mit steigender Einzeltierleistung steigt nicht nur der Anspruch an hoch verdauliche Futtermittel und damit die Verdrängung des Grünlandfutters

überproportional an, sondern auch der Einsatz von Konzentratfuttermitteln vom Acker. Damit wird die Milcherzeugung auf Ackerflächen verlagert und als Konsequenz wird die Nahrungsmittelkonkurrenz zur Monogastrier-Ernährung evident.

*„If everything is under control you are just not driving fast enough.“*

Stirling Moss  
(Ehemaliger Rennfahrer)

### 3. Ein abschließendes Resümee

Zur Sicherung des Beitrages der deutschen Nutztierhaltung zur Deckung des steigenden Bedarfs an Nahrungsmitteln und Industrierohstoffen tierischer Herkunft unter Berücksichtigung der Forderungen der Bevölkerung in Bezug auf Produktionsmethoden, Umweltwirkungen und Tierwohl lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

1. Bei weltweit begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen ist eine Produktionssteigerung durch ‚*nachhaltige Intensivierung*‘ alternativlos.
2. ‚*Nachhaltige Intensivierung*‘ erfordert Invention und Innovation in bisher unbekanntem Maße.
3. Nur in systemischen Sektor-übergreifenden Ansätzen kann nachhaltiges Wirtschaften als Basis der gesellschaftlichen Akzeptanz der Nutztierhaltung erfolgreich umgesetzt werden.
4. Die wissenschaftlichen und technologischen Beiträge der deutschen Agrarwissenschaften sind in weltweite Initiativen für die globale Ernährungssicherung und den Klimaschutz zu integrieren.
5. Stabile förder- und ordnungspolitische Rahmenbedingungen sind wichtige Voraussetzungen für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Nutztierhaltung und -forschung. *„Nutztierforschung ist keine ‚Friedhofsmauer‘!“*

*„Man könnte viele Beispiele für unsinnige Ausgaben nennen, aber keines ist treffender als die Errichtung einer Friedhofsmauer: „... die, die drinnen sind, können sowieso nicht hinaus, und die, die draußen sind, wollen nicht hinein.“*

Mark Twain

#### 4. Literatur

- Animal Task force (2013). Research & innovation for a sustainable livestock sector in Europe – Suggested priorities for support under Horizon 2020 to enhance innovation and sustainability in the animal production sector of Europe’s food supply chains. An Animal Task Force white paper. <http://www.animaltaskforce.eu>.
- BMBF (2010). „Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 - Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft“. Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Referat Bioökonomie, Bonn/Berlin, November 2010 (<http://www.bmbf.de>).
- Charta für Landwirtschaft und Verbraucher (2012). [http://www.bmelv.de/DE/Ministerium/Charta-Diskussion/charta\\_node.html](http://www.bmelv.de/DE/Ministerium/Charta-Diskussion/charta_node.html); BMELV - Januar 2012.
- DAFA (Deutsche Agrarforschungsallianz, 2012). Fachforum Nutztiere. Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – gemeinsam für eine bessere Tierhaltung, Strategie der DAFA, DAFA – 21.05.2012.
- FAO (2006). World agriculture: towards 2030/2050. Interim Report. Global Perspective Studies Unit, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- FAO (2009). The state of food and agriculture – Livestock in the balance. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- FAO (2011): Global food losses and food waste. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- FAO (2013). Edible insects - Future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper 171. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. (ISSN 0258-6150).
- Flachowsky, G., S. Dänicke, P. Lebzien, U. Meyer (2008): Mehr Milch und Fleisch für die Welt – Wie ist das zu schaffen? ForschungsReport 2/2008, 14-17.
- Flachowsky, G., Brade, W., Feil A., et al. (2011): Carbon (CO<sub>2</sub>)-footprints bei der Primärerzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft: Datenbasis und Reduzierungspotentiale. Übers. Tierernährung, 39, 1-45.
- Godfray, H.C.J.; Beddington, J.R. et al. (2010): Food security: The challenge of feeding 9 billion people. Science 327, 812-819.
- Matern, J. (2009): Global Supply Chain – Safe Food. Symposium “Herausforderungen 2011” des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Berlin, 25./26. November 2009.
- Niemann, H., Kuhla, B., Flachowsky, G. (2011): The perspectives for feed efficient animal production. J. Anim. Sci. Doi.10.2527/jas 2011-4236.
- Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., et al. (2006): Relationship of feedlot efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. J. Anim. Sci., 84, 145-153.

- Schwerin, M., Balmann, A., Baum, M., et al. (2010). Herausforderungen für eine zukunftsfähige Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft. BioÖkonomieRat: <http://www.biooekonomierat.de>.
- Taube, F., Kelm, M., Loges, R., Wachendorf, M. (2006): Ressourceneffizienz als Steuergröße für die Förderung nachhaltiger Produktionssysteme: Gibt es Vorrang/-Eignungsflächen für den ökologischen Landbau? Berichte über Landwirtschaft 84, 73-105.
- Woitowitz, A. (2007): Auswirkungen einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren, Dissertation TU München.

## **Laudatio auf den Preisträger**

Gerhard Breves

H. Wilhelm Schaumann Stiftung

Dr. Gürbüz Daş wurde am 04.04.1977 in Göle in der Türkei geboren. Nach Ende seiner Schulzeit nahm er zunächst am „Animal Breeding and Health Programme“ des Kars College of Applied Sciences der Kafkas Universität in Kars teil und hat dieses mit dem Grad eines „Associate“ 1997 erfolgreich abgeschlossen. Danach begann seine eigentliche universitäre Ausbildung, die er bis zum Grad eines Bachelor of Science im Jahre 2001 am Department of Animal Science der Çurcurova Universität in der Türkei absolviert hat. Danach wechselte er an das Department of Animal Science der Çanakkale Onsekiz Mart Universität, wo er 2004 das Studium mit dem Master of Science beendete. Nach einigen Jahren am Department für Nutztierwissenschaften als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe von Prof. Savaş, der hier an der Kieler Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät promoviert wurde, führte ihn sein weiterer wissenschaftlicher Weg im Jahre 2007 an das Department für Nutztierwissenschaften der Universität Göttingen, wo er unter der Betreuung von Prof. Gauly und Prof. Abel im Rahmen eines durch die DFG geförderten Forschungsvorhabens mit den experimentellen Arbeiten zu seinem Dissertationsprojekt begann. Ziel dieses Projektes war es, die Wirkungen von löslichen und unlöslichen Nicht-Stärke-Polysacchariden auf die Wirt-Erreger Interaktionen an jungen Legehennen nach experimenteller Infektion mit *Heterakis gallinarum* bzw. *Ascaridia galli* zu untersuchen. Mit dieser Arbeit wurde er 2010 mit der Auszeichnung *summa cum laude* promoviert. Danach blieb er noch bis 2014 als Postdoc am Department für Nutztierwissenschaften und wechselte Ende 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter in die Abteilung „Ernährungsabhängige Stoffwechselprogrammierung“ im Bereich Ernährungsphysiologie des Leibniz Instituts für Nutztierbiologie in Dummerstorf.

Die Arbeiten an seinem Dissertationsprojekt haben ihn an eine Thematik geführt, die an der Schnittstelle zwischen Ernährungsphysiologie und Tiergesundheit in der Tierhaltung eine hohe Interdisziplinarität aufweist, und es ist ihm in beeindruckender Weise gelungen, ein eigenes wissenschaftliches Profil zu entwickeln. So befasst sich ein erheblicher Anteil seiner zahlreichen in peer-review erschienenen Originalarbeiten mit Fragestellungen zu den Wirkungen unter-



schiedlicher parasitärer Infektionen auf gesundheitsrelevante Merkmale beim Wirtsorganismus. Diese Studien wurden überwiegend am Geflügel durchgeführt, zentrale Themen waren Merkmale von Wachstum und Vermehrung verschiedener Parasiten, ihre Beeinflussung durch Rationskomponenten sowie die parasitären Wirkungen auf den Wirtsorganismus. Bei der Erforschung der parasitären Erkrankungen standen praxis-relevante Nematoden im Vordergrund. Auf Basis seiner hervorragenden Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet biostatistischer Methoden gelingt es Herrn Dr. Daş, biologische Fragestellungen durch besonders klare Versuchsansätze zu bearbeiten und aus den meist in weitem Umfang erhobenen Daten und Analysen überzeugende Ergebnisse und substantielle Erkenntnisfortschritte zu erzielen. Mit großem wissenschaftlichen Interesse hat er außerdem an zahlreichen Untersuchungen in seinem engeren und weiteren Arbeitsfeld der nutztierbezogenen Agrarforschung sehr kooperativ und kollegial mitgewirkt.

Herr Dr. Daş ist bereits mehrfach ausgezeichnet worden. Dies betrifft sowohl Studienabschlüsse in der Türkei als auch das Liebig Forschungsstipendium der Alfred Töpfer Stiftung, Hamburg, die ihm 2004 verliehen wurden. Er ist auch für die H. Wilhelm Schaumann Stiftung kein Unbekannter, denn sein Promotionsvorhaben ist von 2008 bis 2010 für die Dauer von 18 Monaten mit einem Stipendium gefördert worden. Seine internationale Wahrnehmung wird durch die Wahl zum Sekretär der Kommission „Health and Welfare“ der „European Federation of Animal Science“ unterstrichen, eine Tätigkeit, die er seit 2009 innehat.

Mit der Verleihung des Förderpreises an Herrn Dr. Daş zeichnet die H. Wilhelm Schaumann Stiftung einen jungen Nachwuchswissenschaftler aus, der sich seit seinem akademischen Studium in der Türkei durch Mobilität ausgezeichnet hat und sich mit großem persönlichen Einsatz und mit hoher fachlicher Kompetenz in verschiedene Arbeitsgruppen integriert hat und der sich auf diese Weise ein eigenes wissenschaftliches Profil erarbeiten konnte. Vorstand und Kuratorium der H. Wilhelm Schaumann Stiftung gratulieren Ihnen sehr herzlich zu dieser Auszeichnung und wünschen Ihnen persönlich und beruflich Erfolg und Zufriedenheit. Gelegentlich unserer leider viel zu seltenen persönlichen Begegnungen habe ich bemerkt, wie dankbar Sie sich bewusst sind, dass Sie sich wissenschaftlich so erfolgreich entwickeln konnten, weil Sie in einem kompetenten fachlichen Umfeld angeleitet und ausgebildet wurden. Diese Erfahrungen nun selbst an Ihren wissenschaftlichen Nachwuchs weiter zu geben, ist für Sie ganz sicher mehr als nur eine Ermunterung.



Prof. Dr. Gerhard Breves



Prof. Dr. Gerhard Breves, Prof. Dr. Dr. h.c. mult E. Kalm  
(Vorstand H. Wilhelm Schaumann-Stiftung), Dr. Gürbüz Daş (v. links)

## **Dankesworte und Kurzvortrag**

Gürbüz Daş

FBN Dummerstorf

### **Dankesworte**

Sehr geehrter Herr Prof. Kalm,

Sehr geehrter Herr Prof. Breves

Sehr geehrte Herren Seiller,

sehr geehrte Herren des Kuratoriums der Wilhelm Schaumann-Stiftung,

verehrte Festgesellschaft,

Ich bin sehr glücklich, dass ich heute hier stehen darf.

Die Auszeichnung mit dem Förderpreis der H. Wilhelm Schaumann Stiftung ist für mich eine sehr große Ehre und eine Sternstunde meines wissenschaftlichen Lebensweges. Dafür bin ich dem Stiftungsvorstand, den Mitgliedern des Kuratoriums und natürlich besonders der Familie Seiller sehr dankbar.

Für Ihre „viel zu freundliche“ Laudatio danke ich Ihnen, sehr geehrter Herr Prof. Breves, herzlichst.

Mein Dank gilt aber auch dem Göttinger Department für Nutztierwissenschaften mit seinem Direktor Herrn Prof. Knorr dafür, dass ich als Kandidat für diesen großartigen Preis vorgeschlagen wurde.

Der Preis einer gemeinnützigen Institution wie der H. Wilhelm Schaumann Stiftung sagt mir, dass die Arbeiten im Göttinger Team allgemeine Anerkennung erfahren haben. Zugleich stärkt der Preis meine Motivation, als Nutztierwissenschaftler an der nachhaltigen Gestaltung der Lebensbedingungen für Mensch und Tier weiter verantwortungsbewusst mitzuwirken.

Dass ich als nicht in Deutschland Geborener, mit diesem Preis ausgezeichnet werde, enthält eine weitere große Botschaft nicht nur an mich, sondern an viele Menschen, die sich in die Gesellschaft integrieren wollen: Sie zeigt, was hier in Deutschland durch freundschaftliche Aufgeschlossenheit, Kompetenz und Leistung erreicht werden kann.

Ich habe die Arbeiten in Göttingen natürlich nicht alleine umsetzen können. Ich danke unseren Doktoranden, technischen Assistenten, allen meinen Co-Autoren und allen, die mir bei den Tierversuchen, im Labor oder bei den organisatorischen Dingen geholfen haben.

Ich kann aus Zeitgründen leider nicht jeden einzelnen Namen nennen, aber drei Personen, die mir ganz besonders nahe stehen, möchte ich doch hervorheben.

Zuerst möchte ich mich an dieser Stelle bei meinem ersten Mentor, Prof. Türker Savas an der Canakkale Onsekiz Mart Universität in der Türkei, bedanken. Leider kann er heute nicht hier sein, da sein Flug wegen starken Schneefalls in Istanbul storniert wurde. Prof. Savas unterstützt mich schon seit 15 Jahren mit großem Wissen und allen Mitteln. Ich bin Herrn Prof. Savas zu großem Dank verpflichtet.

Die zweite Person, der ich ganz herzlich danken möchte, ist Herr Prof. Hans-Jörg Abel. Nicht nur für die ständige Unterstützung seit Beginn meiner Doktorarbeit im Jahr 2007, sondern vor allem für die weisen Ratschläge, die er mir gab. Als einer seiner letzten Doktoranden durfte ich an vielen lehrreichen Diskussionen mit ihm teilnehmen, und bin dabei auch in den Genuss seines besonderen Humors gekommen. Für all das bin ich Ihnen, Herr Prof. Abel, von Herzen dankbar.

Schließlich, danke ich ganz herzlich Herrn Prof. Matthias Gauly. Schon seit 2004, als ich zunächst mit einem 3-monatigen Stipendium nach Deutschland kam, unterstützte mich Herr Prof. Gauly mit allen verfügbaren Mitteln. Er hat mich in den letzten 8 Jahren nicht nur exzellent wissenschaftlich betreut und finanziert, sondern mir persönlich, auch privat, viel Zeit gewidmet und mir ständig eine vorbildliche Mitmenschlichkeit gezeigt. Ich habe unzählige Gründe, Herrn Gauly zu danken. Am meisten danke ich ihm für das Vertrauen und für die Freiheit, die er mir als Doktorand und Assistent schenkte. Ich durfte fast meine ganze Zeit selbst bestimmen und verwenden. Ich glaube, es gibt nichts Größeres als solche produktive Zeit. Für alle diese wunderbaren Erfahrungen und Erinnerungen bleibe ich Ihnen, Herr Prof. Gauly, lebenslang dankbar!



# Wege zu einer besseren Tiergesundheit: Kontrolle von Nematodeninfektionen beim Geflügel



## Gürbüz Daş

Georg-August-Universität Göttingen  
Department für Nutztierwissenschaften  
Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen

Verleihung des H. Wilhelm Schaumann-Stiftung Förderpreises, 20. Februar 2015, Kiel

Sehr geehrten Damen und Herren,  
Im Verlauf der letzten 8 Jahre habe ich mich schwerpunktmäßig mit den Wechselwirkungen zwischen Ernährung, Genetik und Nematodeninfektionen beim Geflügel befasst

## Gliederung

- **Hintergrund**
  - Paradigmenwechsel
  - Rückkehr der Nematodeninfektionen
  - Schritte zu nachhaltigen Lösungen
- **Ergebnisse / Beispiele**
  - Quantifizierung von Nematodeninfektionen
  - Fütterung
  - Immunantwort
  - Genetik des Wirtes
- **Schlussfolgerungen**

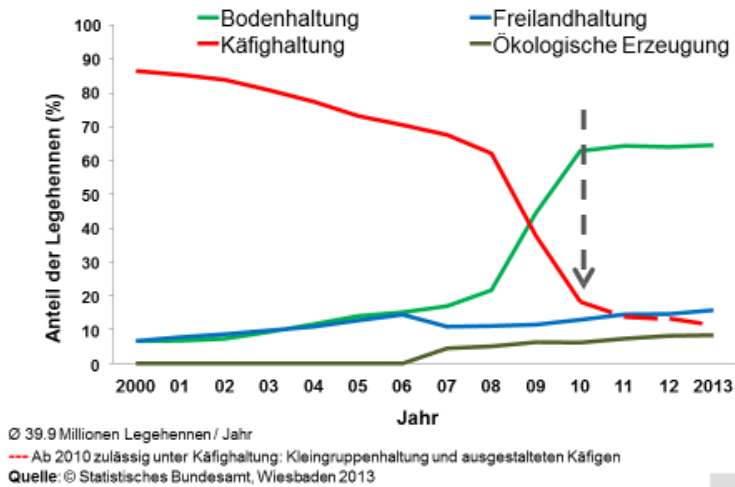
In dieser Präsentation werde ich zunächst kurz auf die Hintergründe der Thematik eingehen. Danach werde ich ausgewählte Untersuchungsergebnisse zum Thema vorstellen und abschließend einige Möglichkeiten zur Kontrolle von Nematodeninfektionen bei Legehennen ansprechen

## Paradigmenwechsel



Die Wünsche der Verbraucher haben sich in den letzten 50 Jahren stark geändert. Während früher primär die Verfügbarkeit und Preise von Lebensmitteln im Vordergrund standen, ist in der Folge deren Sicherheit (Erreger- und Rückstandsfreiheit) in den Vordergrund gerückt. Heute steht die tiergerechte Haltung im Fokus. Lebensmittel nur noch von „glücklichen“ Hühnern! Viele Verbraucher sind, zumindest bei Befragungen auch bereit, dafür mehr zu bezahlen.

## Haltungsformen in der Legehennenhaltung



In der Folge wurden die gesetzlichen Vorgaben geändert, wodurch sich die Verbreitung der verschiedenen Haltungssysteme änderte. In Deutschland werden heute rund 40 Millionen Legehennen in Betrieben mit mindestens 3000 Hennenplätzen gehalten. Im Jahr 2000 wurden noch über 85% in konventionellen Käfigen gehalten. Und nach ihrem Verbot im Jahr 2010, ist der Anteil an Tieren in sogenannten ausgestalteten Käfigen heute unbedeutend. Stattdessen, die Anteile der Boden- und Freilandhaltung sowie die ökologische Erzeugung haben zugenommen.

## Neue (alte) Probleme

### Anstieg:

- Bakterielle und virale Infektionen
- Parasiteninfektionen
- Federpicken und Kannibalismus
- Mortalität



(Gauly et al., 2007; Fossum et al., 2009)

5/17

Vorteile der „neuen“ Haltungsformen sind:

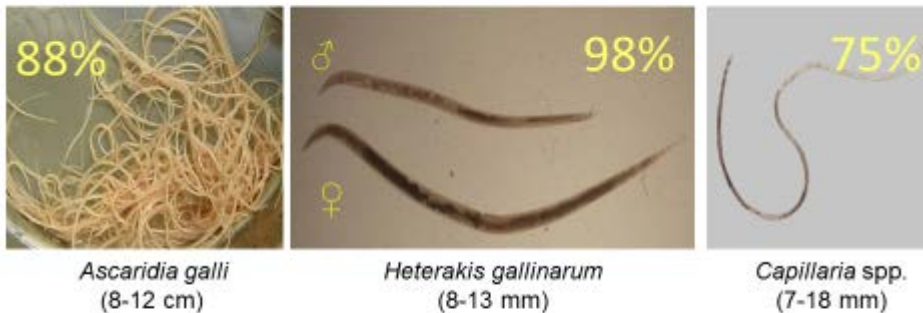
die Hühner können sich relativ frei bewegen, und fast alle natürliche Verhaltensweisen ausleben

Sie sind aufgrund der hygienischen Bedingungen aber auch verstärkt den Gefahren bakterieller, viraler und parasitärer Erkrankungen ausgesetzt.

Darüber hinaus gibt es Probleme mit Federpicken und Kannibalismus, deshalb liegt die Mortalität meist höher als in der früheren Käfighaltung.



## Nematodeninfektionen



**n = 740 Legehennen**

**Durchschnittlicher Wurmbefall: > 200 / Henne (!)**

Kaufmann et al., 2011, Livest. Sci.  
Wongrak et al., 2014, BMTW

6/17

In unseren Untersuchungen konnten wir zeigen, dass fast alle Hühner in Freilandhaltung mit gastrointestinalen Nematoden infiziert sind

88% der Hennen waren mit dem Spulwurm *A. galli* und fast alle Tiere mit dem Blinddarmwurm *H. gallinarum* infiziert. Bei drei Vierteln der Hennen fanden sich verschiedene Haarwurm -Arten.

Durchschnittlich ließen sich mehr als 200 Würmer pro Huhn nachweisen.

Ähnliche Ergebnisse fanden wir in Wiederholungen

Die Würmer sind pathogen und können manche Krankheiten übertragen.

Die Frage ist, warum es so hohe Infektionsraten gibt?

Sie entstehen, weil die Tiere direkten Kontakt mit ihren Exkrementen haben, wodurch die Parasiten ihre Entwicklungszyklen vollenden und sich verbreiten können.

Bisher wird die Kontrolle primär durch den Einsatz von Medikamenten durchgeführt. Es besteht aber die Gefahr der Resistenzbildung sowie der Rückstandsbelastung. Wir kennen dieses Problem u.a. im Bereich der Antibiotika.

## Schritte zu einer nachhaltigen Lösung

- **Quantifizierung von Infektionen**

- Koproskopische Untersuchungen
- Immunantwort des Wirtes



- **Ernährung?**

- **Immunität gegen Parasiten?**

- **Genetische Selektion des Wirtes?**

7/17

Welche Möglichkeiten bieten sich also außerdem?

Zur Entwicklung von Alternativen müssen parasitäre Infektionen zunächst quantitativ genauer erfasst werden.

Am genauesten ist es, die Tiere zu schlachten und die Wurmzahlen exakt zu bestimmen. Aber solche Ergebnisse sind nicht immer sinnvoll, weil das Tier getötet werden muss. Es ist auch zeitaufwendig und teuer.

Die Bestimmung von ausgeschiedenen Parasiteneiern im Kot lebender Tiere wäre deshalb vorteilhafter.

Die Bestimmung der Immunantwort könnte ein weiterer Indikator sein.

Auf Basis quantitativ beschreibbarer Infektionen könnte dann genauer untersucht werden,

- ob man durch Fütterung den Infektionen beeinflussen kann?
- wie es sich mit der Immunität des Wirtstieres gegen Parasiten verhält
- und ob sich Möglichkeiten für eine Züchtung auf Parasitenresistenz bieten



(1): MAFF, 198... Das et al., 2011; Wongrak et al., 2015, Vet. Parasitol.

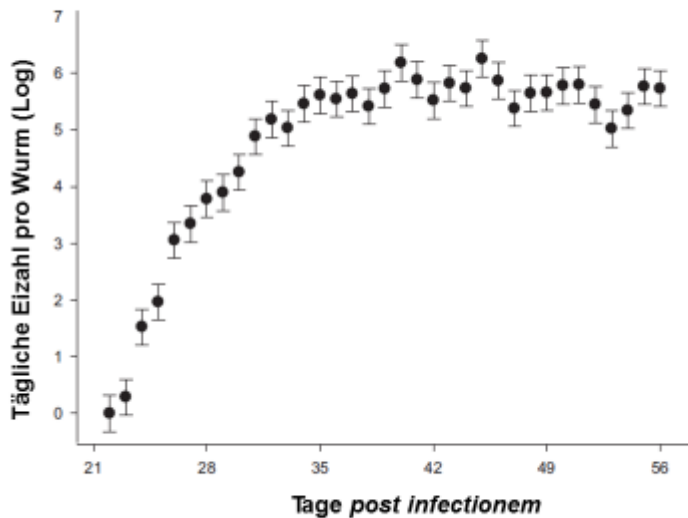
8/17

Zur Quantifizierung der Infektionen haben wir die sogenannte McMaster-Methode angewendet, die auf der Bestimmung der Eikonzentration im Kot beruht. Die Methode funktioniert aber nur unter bestimmten Umständen. Durch gründliche Überprüfungen haben wir einige Variationsquellen, die die Informations-Qualität der Ergebnisse beeinflussen identifiziert und in der Folge eliminiert.

Mit einer verbesserten Sammel-Technik konnten wir die Nematodeninfektionen nach experimenteller Infektion sehr genau quantifizieren.

Dazu zeige ich ein Beispiel aus unseren Untersuchungen an Junghennen. Die parasitenfreien Tiere wurden im Alter von 3 Wochen mit 200 embryonierten Parasiteneiern infiziert. Nach der Präpatenzperiode, haben wir tägliche Kotproben quantitativ gesammelt und die gesamte Parasiteneierausscheidung präzise bestimmt.

## Verlauf der Eiausscheidung von *H. gallinarum*



Das and Gauly, 2014, Parasit. & Vector.

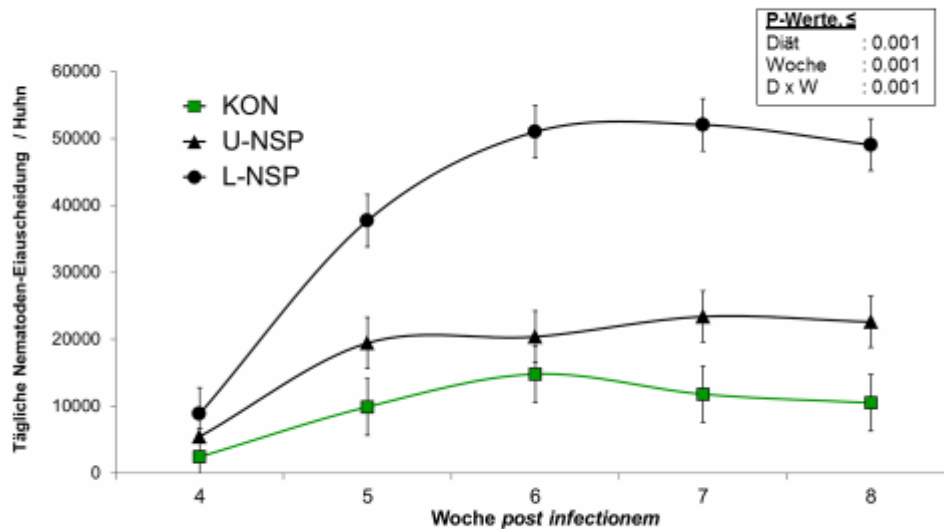
9/17

Hier sehen Sie den Verlauf der täglichen Eizahl pro weiblichem Wurm für eine 5-wöchige Periode.

Der Parasit begann 3 Wochen nach der Infektion Eier auszuscheiden. Zwei Wochen nach Beginn der Ausscheidung wurde ein konstantes Niveau erreicht. Wir konnten am Ende des Versuchs zeigen, dass die Ausscheidung der Parasiteneier mit den Wurmzahlen sehr hoch korrelierte.

Damit haben wir sehr wichtige methodische Grundlagen für eine exakte quantitative Beschreibung von gastrointestinalen Nematodeninfektionen beim Geflügel geschaffen

## Nicht-Stärke-Polysacchariden des Futters?



Das et al., 2011; 2014, Vet. Parasitol.

10/17

In der Folge suchten wir nach Möglichkeiten, die Nematoden Infektionen zu beeinflussen.

Wir haben erst die Einflüsse von *Nicht-Stärke-Polysacchariden des Futters* untersucht.

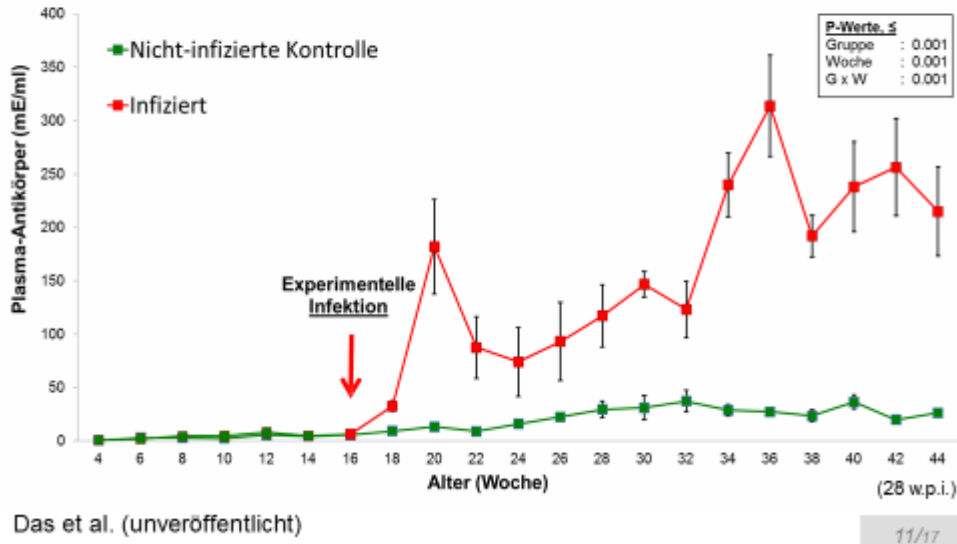
*Warum die Nicht-Stärke-Polysaccharide? Beim Schwein wurde bereits gezeigt, dass bestimmte Nicht-Stärke-Polysaccharide Nematoden-infektionen sehr stark reduzieren können.*

*Diese Möglichkeit haben wir bei den Legehennen geprüft.*

*Und es hat sich ergeben, dass Nicht-Stärke-Polysaccharide, sowohl löslich als auch unlöslich, die Etablierung und Vermehrung von Parasiten begünstigen!*

*Also was beim Schwein ganz gut funktioniert hat, hat kein Potential bei Legehennen!*

## Wurm-spezifische Antikörper im Plasma



In der Folge suchten wir nach Möglichkeiten, die Abwehrreaktion der Tiere gegen parasitäre Infektionen genauer zu untersuchen

Dazu entwickelten wir (mit Hilfe einer Privatfirma) einen ELISA-Assay zur Messung von Parasit-spezifischen Antikörpern

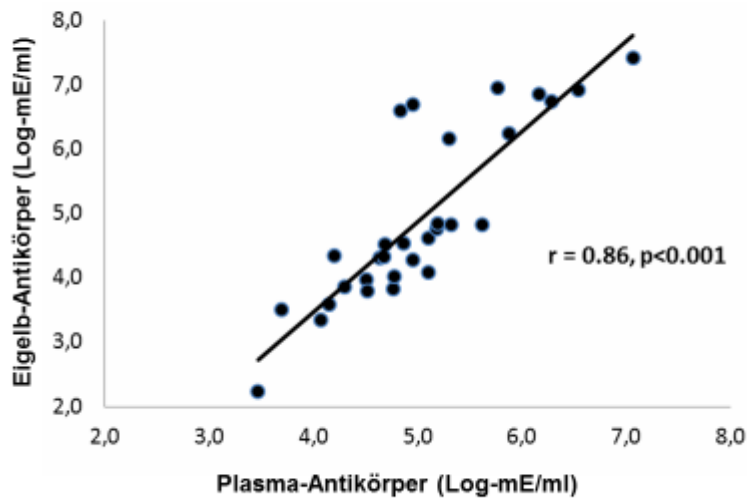
Durch experimentelle Infektionen konnten wir zeigen, dass infizierte Tiere schon zwei Wochen nach der Infektion im Plasma erhöhte Antikörpertiter aufwiesen.

Aber offensichtlich boten die Antikörper keinen Schutz gegen den Parasiten, denn selbst noch 28 Wochen nach der Infektion fanden sich Larven im Tier, die Neuinfektionen anzeigten.

Vielleicht hatten also die Antikörper andere Funktionen, die möglicherweise den Nachkommen der Tiere dienen könnten.

Dazu untersuchten wir zunächst, ob die Antikörper in Eigelb übertragen werden

## Gibt es maternale Antikörper im Eidotter?



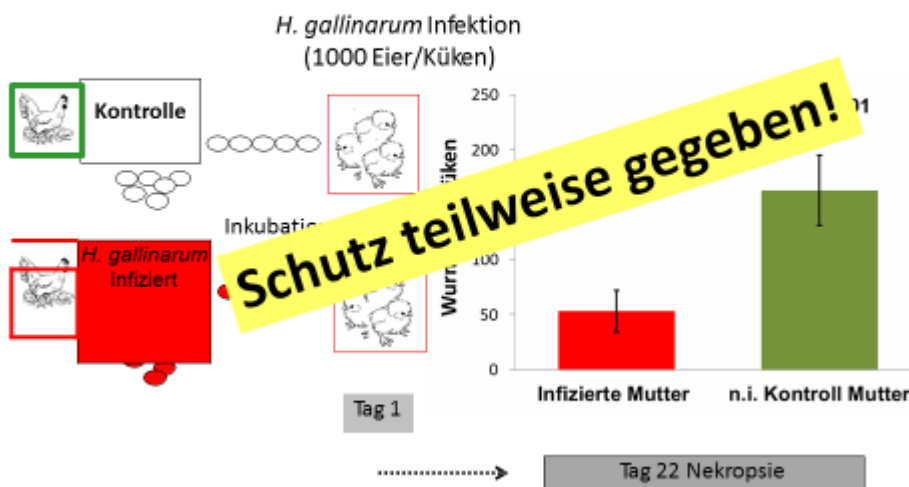
Das et al. (unveröffentlicht)

12/17

Tatsächlich korrelierten die Parasit-spezifischen Antikörperkonzentrationen im Plasma und im Eigelb sehr stark. Die Hennen transferierten also die Antikörper in die Eier.

Nun wollten wir natürlich wissen, ob die maternalen Antikörper im Eigelb die daraus geschlüpften Küken gegen denselben Parasiten schützen können

## Bieten die Antikörper einen Schutz ?



Das et al. (unveröffentlicht)

13/17

Also sammelten wir Eier von nicht infizierten Kontrollhennen und von infizierten Hennen, bebrüteten die Eier und infizierten die geschlüpften Küken an ihrem ersten Lebenstag experimentell.

Drei Wochen später hatten die Küken von infizierten Müttern deutlich weniger Würmer als die Küken von nicht infizierten Kontrollhennen.

Die maternalen Antikörper schützten demnach die Nachkommen gegen den Parasiten.

## Zucht auf Parasitenresistenz?

14/17

Wie verhält es sich nun mit der Parasitenresistenz der Tiere?

Parasitenresistenz wird schon beim kleinen Wiederkäuer als funktionales Merkmal in Zuchtprogrammen genutzt.




Voraussetzung für eine erfolgversprechende Zucht wäre jedoch eine ausreichend große genetische Variation von Parasitenresistenz bei Legehennen.



## Parasitenresistenz ist heritabel



### Heritabilität

	Studie 1 n = 246	Studie 2 n = 265
 <i>A. galli</i>	0,11 (± 0,11)	0,21 (± 0,17)
 <i>H. gallinarum</i>	0,69 (± 0,20)	0,50 (± 0,13)
 <i>Capillaria spp.</i>	0,18 (± 0,07)	0,35 (± 0,20)
<b>Gesamtbefall</b>	<b>0,75 (± 0,21)</b>	<b>0,56 (± 0,16)</b>

1: Kaufmann et al., 2011b, Vet. Parasitol.

2: Wongrak et al., 2014b, Br. Poult. Sci.

15/17

Dazu haben wir die Heritabilität für Wurmbelastung (Wurmbzahl) bei im Feld natürlich-infizierten Legehennen am Ende der Legeperiode geschätzt.

Trotz relativ niedriger Tierzahlen ergab sich für *H.gallinarum*, und für Gesamtwurmbefall hohe Schätzwert der Heritabilität.

Wir haben ein paar Jahre später einen sehr ähnlichen Versuch durchgeführt und konnten mit sehr ähnlichen Ergebnissen, diese Ergebnisse bestätigen.

## Schlussfolgerungen

- ~~Nicht-Stärke-Polysaccharide des Futters~~
- **Maternaler Schutz ist möglich**
  - Möglichkeit für Nematodenimpfungen??
- **Wurmbefall: hohe genetische Variabilität**
  - Genomische Selektion??

16/17

Sehr geehrte Damen und Herren,  
Damit möchte ich aus unseren bisherigen Forschungsergebnissen folgende Schlüsse in Bezug auf nachhaltige Kontroll- und Abwehrstrategien gegen Nematodeninfektionen beim Geflügel ziehen:

- *Nicht-Stärke-Polysacchariden des Futters bieten kein Schutzpotenzial gegen Nematoden bei Legehennen*
- Nematodeninfektionen führen zur Bildung von Antikörpern im Blutplasma
- ihre Anreicherung im Eidotter bietet einen maternalen Schutz gegen Nematodeninfektionen der Nachkommen
- Diese Ergebnisse eröffnen weiter zu entwickelnde Möglichkeiten für Impfstoffe gegen Nematodeninfektionen beim Geflügel
- Es ließ sich zeigen, dass Wurmbefall ein genetisch beeinflusstes Merkmal der Parasitenresistenz bei Legehennen ist, das in die genomische Selektion einbezogen werden könnte

## Danksagung

H. WILHELM SCHAUMANN  
STIFTUNG



"Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie"

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT  
GÖTTINGEN



Stiftung für Ernährungswissenschaft  
– Nachwuchsförderung –



ELISA-Entwicklung GmbH & Co. KG

17/17

Abschließend möchte ich mich nochmals bei der Wilhelm Schaumann Stiftung bedanken, nicht nur für den Förderpreis, sondern auch für ein 18monatiges persönliches Stipendium während meiner Promotion. Ohne diese Hilfe wäre ich wahrscheinlich heute nicht hier.

Auch der „Deutsche Forschungsgemeinschaft“, dem „Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie“, der Stiftung für Ernährungswissenschaft danke ich für die finanzielle Forschungsunterstützung. Der Firma ELISA-Entwicklung GmbH danke ich für die Zusammenarbeit. Meinen Früheren und auch heutigen Arbeitsgebern danke ich auch!

Last but not least danke ich Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit: **Vielen Dank!**