Vorträge

zur Hochschultagung 2016

„Die großen Weichenstellungen?
Agrar- und Ernährungspolitik nach 2020“

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

und zur

Verleihung der

Johann-Heinrich-von-Thünen

Medaille in Gold 2015

an

Professor Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber

München-Weihenstephan

in Kiel
am 12. Juni 2015

Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Kiel, Heft 123, (2016)

Unredigierte Informationsschrift

Beiträge in ausschließlicher wissenschaftlicher
und auch redaktioneller Verantwortung
der jeweiligen Autoren

© Selbstverlag der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Schriftleitung: Prof. Dr. F. Taube
ISSN: 0721-0809

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Professor Dr. Dr. h.c. P. Michael Schmitz 7
Universität Gießen
Leitlinien für eine zukunftsfähige EU Agrarpolitik: Die Sicht eines Agrarökonomen

Professor Dr. Luca Montanarella 19
Europäische Kommission - Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability
EU-Agrarpolitik aus Sicht der Welternährungssicherung und Ressourcenschonung

Professor Dr. Sebastian Hess 31
Institut für Agrarökonomie
Rückblick: Ein Jahr nach der Milchquote – Erste Erfahrungen mit einem liberalisierten Milchmarkt

Dr. habil. Gunnar Breustedt 38
Institut für Agrarökonomie
Zuckerrübenanbau nach der Quote: Wie sollen Vertragsbeziehungen zwischen Anbauern und der Nordzucker AG zukünftig gestaltet werden?

Dr. Lukas Kornher 46
Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre
Regionale Kooperation bei staatlicher Lagerhaltung zur Ernährungssicherungssicherung in West-Afrika

Professor Dr. Jens-Peter Loy 54
Institut für Agrarökonomie
Messung des Vermarktungserfolges bei Marktfruchtbetrieben: Wie groß sind die Unterschiede?

Seite

Dr. Birgit Schulze-Ehlers 61
Institut für Agrarökonomie
Mehrzahlungsbereitschaft für Tierwohl: Fiktion, Nischenphänomen oder Zukunftstrend?

Professor Dr. Hans-Hennig Sundermeier 69
Landwirtschaftlicher Buchführungsverband
Operative Planung der optimalen Fruchtfolge mit Linearer Programmierung

Dr. Angelika Häußermann 79
Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik
Einfluss der Melktechnik auf die Eutergesundheit

Professor Dr. Georg Thaller 87
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Ansätze zur züchterischen Reduzierung der Methanemissionen

Professor Dr. Andreas Susenbeth 91
Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie
Energie- und Proteinversorgung der laktierenden Sau mit großen Würfen

Professor Dr. Joachim Krieter 95
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Indikatoren zur Bewertung der Tiergerechtheit für die betriebliche Eigenkontrolle beim Schwein

Professor Dr. Carsten Schulz 104
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Wechselwirkungen der spezifischen Haltungsumwelt in Kreislaufanlagen auf Leistungsparameter von Fischen

Professor Dr. Tim Diekötter 113
Institut für Natur- und Ressourcenschutz
Es grünt so grün - Biodiversitätseffekte des Greenings

Seite

Diplom-Biologe Marcus Rohwer, Professor Dr. Karl Hermann Mühling 118
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
Können die Spurengasemissionen nach organischer und mineralischer Düngung durch Nitrifikationshemmer reduziert werden?

Privat-Dozent Dr. Benjamin Burkhard 124
Institut für Natur- und Ressourcenschutz
Ökosystemleistungen - Ein innovatives Konzept für eine standortgerechte nachhaltige Landwirtschaft

Professor Dr. Christian Jung 133
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Erfolge und Hindernisse auf dem Weg zur Züchtung von Winterzuckerrüben

Dr. Susanne Ohl 141
Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik
Biogasausbeute von Zuckerrüben – effizienter als Mais?

Dr. Julia Keppler 149
Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
Neue Wege in der Lebensmitteltechnologie: Nutzung von sekundären Pflanzeninhaltstoffen zur Proteinmodifikation

Dr. Corinna Geisler 156
Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
Alter, Ernährung und Gebrechlichkeit

Dr. Anika Wagner 163
Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
Einfluss von Grüntee auf die Lebens- und Gesundheitsspanne bei Drosophila melanogaster (Fruchtfliege)

Seite

Verleihung der Johann-Heinrich-von-Thünen Medaille in Gold an Professor Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber 168

Einleitung 168

Grußwort 170

Professor Dr. Friedhelm Taube 171
Ladatio auf den Preisträger

Professor Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber 179
Agrarökonomie im Wandel der Zeit

Johann Heinrich von Thünen 197

Leitlinien für eine zukunftsfähige EU-Agrarpolitik: Die Sicht eines Agrarökonomen

P. Michael Schmitz

Institut für Agrarpolitik und Marktforschung
Justus-Liebig-Universität Gießen

Macht es Sinn, dass man jetzt schon über die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU nach 2020 nachdenkt, wo doch gerade einmal zwei Jahre des Sieben-Jahre-Programms der letzten Reform vorüber sind? Sollten nicht erst einmal Ruhe einkehren und die letzten Feinkorrekturen am bisherigen Programm abgeschlossen werden? So könnten viele Landwirte und ihre Marktpartner denken, die noch mit der überbordenden Bürokratie der letzten Reformmaßnahmen zu kämpfen haben. Und doch ist es sinnvoll, sich jetzt schon einzumischen und an der Diskussion teilzunehmen. Diese hat nämlich schon längst begonnen:

- So hat kürzlich Finanzminister Schäuble den „europäischen Mehrwert" der Agrargelder bezweifelt, die seiner Meinung nach eher nationalen Zwecken dienen und daher umgeleitet werden sollten.
- Der Europaabgeordnete Jahr (CDU) hat einen Roundtable zur GAP-Zukunft einberufen, um die zukünftige Architektur von 1. und 2. Säule zu diskutieren.
- Und schließlich will der Agrarkommissar Phil Hogan die Ergebnisse des letzten Eurobarometers vom Herbst 2015 in die EU-Agrarreformdiskussion einfließen lassen.

Neben diesen ersten Wortmeldungen gibt es auch schon feste Termine für sogenannte Halbzeitüberprüfungen, die vertraglich festgelegt sind:

- Die mehrjährige Finanzplanung steht Ende 2016/ Anfang 2017 auf dem Arbeitsplan und soll im Hinblick auf ihre Wirkung auf Beschäftigung, Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit hin geprüft werden.
- Eine Halbzeitüberprüfung für die GAP und speziell für die Regelung der ökologischen Vorrangflächen steht 2017 an.
- Ebenso ist geplant, die Obst- und Gemüsemarktordung sowie die Regelungen zu den geografischen Herkunftsangaben 2017 einer Prüfung zu unterziehen.

Möglicherweise werden bei diesen Halbzeitüberprüfungen bereits erste Weichen gestellt, die dann in die Reform nach 2020 einfließen. Außerdem dauert die Entwicklung und Umsetzung von widerspruchsfreien Politikvorschlägen mindestens drei bis vier Jahre, so dass es gerade auch für Agrarökonomen Sinn macht, sich frühzeitig mit eigenen Vorschlägen zu Wort zu melden. Und nicht zuletzt ist es wichtig, Öffentlichkeit und Wähler aufzuklären, über die Folgen verschiedener Politikvorschläge zu informieren und sie in den Stand zu versetzen, unabhängig vom gerade herrschenden Zeitgeist eine eigene Meinung zu bilden. Denn eines scheint auch für andere Politikfelder immer klarer: Wer zuerst die Deutungshoheit in der öffentlichen Diskussion über bestimmte Sachverhalte gewinnt – auch wenn diese nachweislich einer wissenschaftlichen Überprüfung nicht standhalten – bekommt die Mehrheit und setzt sich im politischen Willensbildungs- und Meinungsprozeß durch.

Und genau hier sollten die Agrarökonomen ins Spiel kommen, auch wenn „dicke Bretter gebohrt“ werden müssen. So hat es sechzehn Jahre gedauert, bis die Vorschläge aus dem Koester/ Tangermann-Gutachten zur Reform der Agrarpolitik von 1976 zumindest teilweise Eingang in die McSharry-Reform von 1992 gefunden haben. So lange kann es dauern, bis sich die Erkenntnis durchsetzt, dass fehlkonstruierte Politiken nicht dauerhaft gegen ökonomische Gesetzmäßigkeiten und Regeln der Logik verstoßen können, ohne erheblichen wirtschaftlichen Schaden anzurichten. Die Frage ist nun, wie können Agrarökonomen konkret solche Fehlkonstruktionen vermeiden helfen? Das bewährte Konzept der Nutzen-Kosten-Analyse ist dabei hilfreich:

- Ziele klar benennen und wenn möglich mit Indikatoren messbar machen.
- Zielverbesserungen einer politischen Maßnahme als Nutzen identifizieren und möglichst monetarisieren. Wird der Zielindikator positiv beeinflusst, spricht man von einer effektiven Politikmaßnahme. Der Nachteil gegenüber den Naturwissenschaften besteht allerdings darin, dass Agrarökonomen in der Regel keine Laborexperimente durchführen können, wo Einzeleinflüsse isoliert werden.
- Die Kosten einer politischen Maßnahme als Zielverzicht dagegenrechnen und eine Nutzen-Kosten-Bilanz aufstellen.
- Schließlich die Nutzen-Kosten-Bilanzen alternativer politischer Maßnahmen vergleichen und die beste Politik auswählen. Dann kann man von effizienter Politik sprechen. Solche Vergleiche sind wichtig, weil Politiker häufig suggerieren, ihre Politikmaßnahme sei alternativlos und deswegen die einzig richtige Lösung der Probleme.

Vielleicht sollte dazu noch in Erinnerung gerufen werden, dass sich Ökonomen vor allem mit dem Phänomen „Knappheit“ beschäftigen und diese zu überwinden suchen. Und Knappheit bezieht sich bekanntermaßen nicht nur auf wirtschaftliche Güter und Dienstleistungen, sondern auch auf die Umwelt und andere nicht-ökonomische Zielverletzungen. Gerade im Umweltbereich gilt es dabei, die effizientesten Maßnahmen zum Umweltschutz zu identifizieren. Deshalb macht es Sinn, dass nicht nur Agrarökonomen von Umweltwissenschaftlern lernen, sondern auch Umweltwissenschaftler auf den Rat von Agrarökonomen hören sollten. In der Wissenschaft klappt das schon ganz gut. In der Politik ist das leider noch nicht überall angekommen, indem man die Ökonomie wider besseres Wissen auf das rein Wirtschaftliche reduziert und sie mit Argumenten der Gesinnungsethik diskreditiert.

Trotz aller populären Kritik an der Arbeit der Ökonomen kann aber festgehalten werden, dass sich der marktwirtschaftliche Koordinationsmechanismus einem plan-wirtschaftlichen Wirtschaftssystem historisch als überlegen erwiesen hat. Das gilt auch für einzelne Politikbereiche, wie die EU-Agrarpolitik, die im Rahmen zahlreicher Reformen ihre planwirtschaftlichen Elemente schrittweise abgeschafft oder zurückgebaut hat. Trotz der aktuell schwierigen Preis- und Einkommenssituation für die Landwirtschaft (vgl. zur Erzeugerpreisentwicklung für Milch und Fleisch die Schaubilder 1 und 2) sollte deshalb die EU-Agrarpolitik den in wichtigen Teilen begonnenen Kurs einer Marktorientierung auch nach 2020 fortsetzen und sich nicht durch marktwidrige rückwärtsgewandte Reformvorschläge verunsichern lassen. Zur Marktorientierung gehören dabei zweifellos

- offenere Grenzen und internationale Arbeitsteilung mit Partnern der EU und außerhalb (konkret: Abbau von tarifären und nichttarifären Handelshemmnissen und Verzicht auf Exporterstattungen) (vgl. Schaubilder 3 und 4);
- Verzicht auf produktionslenkende Eingriffe durch staatliche oder staatlich legitimierte Institutionen/Organisationen;
- Abschaffung gekoppelter Direktzahlungen und Beschränkung marktstützender Interventionen auf Ausnahmefälle (vgl. Schaubild 5).

Über die Direktzahlungen ist allerdings nach 2020 neu nachzudenken. Alle bisherigen Begründungen halten einer gründlichen Überprüfung nicht stand.

- Als Instrument der Einkommenssicherung müssten sich die Direktzahlungen an der individuellen Einkommens- und Vermögenssituation der Haushalte in den einzelnen EU-Mitgliedsländern und deren steuer- und sozialpolitischen Normen orientieren und nicht an sektoralen oder EU-weiten Durchschnittswerten;

- Als pauschaler Ausgleich für höhere Standards in der EU fehlt den Direktzahlungen der quantifizierbare Beleg, die damit verbundene notwendige Ausdifferenzierung und das Alleinstellungsmerkmal im Vergleich zu anderen, ebenfalls von Standards belasteten Sektoren in der EU;
- Als Instrument für konkrete Umweltleistungen fehlt den Direktzahlungen die Orientierung an den jeweiligen lokalen/regionalen Knappheiten der verschiedenen Umweltgüter und damit mangelt es an Treffsicherheit.

Wenn man den in der 1. Säule bislang verankerten pauschalen Einkommenstransfer deshalb nicht an der tatsächlichen individuellen Einkommenssituation der landwirtschaftlichen Haushalte orientieren möchte, verbleibt lediglich das Argument des Vertrauensschutzes für eine zeitlich begrenzte Fortführung der Direktzahlungen. Dabei wäre zu akzeptieren, dass ein Teil der Direktzahlungen an die Grundeigentümer überwälzt wird und nicht den aktiven Landwirten zu Gute kommt.

Dass aber eine marktwirtschaftliche Orientierung auch ihre Grenzen hat, ist unstrittig. Dann ist Politik in der Verantwortung. Manchmal helfen allerdings schon weiche Eingriffe, um Märkte wieder funktionsfähig zu machen bzw. die Wettbewerbsfähigkeit agrar- und ernährungswirtschaftlicher Branchen marktnah zu stärken. Die Förderung von Forschung und Entwicklung, von Weiterbildung und Beratung sowie die Schaffung von Markttransparenz und Bereitstellung von Marktinformationen sind Beispiele dafür.

Gerade Investitionen in Forschung und Entwicklung bieten ein großes Innovationspotenzial in der Tier- und Pflanzenproduktion, um gleichzeitig die wirtschaftliche Lage und die Umweltsituation zu verbessern. Die Ausschöpfung dieser Potenziale, z.B. mit allen Varianten des „Precision Farming“, sollte deshalb Vorrang vor Verboten und Auflagen haben (vgl. Schaubilder 6 und 7).

In vielen Fällen des Marktversagens sind aber zweifellos ordnungsrechtliche Eingriffe oder marktkorrigierende Schutzpolitiken über Steuern bzw. handelbare Rechte notwendig. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass dabei häufig gravierende Fehler passieren, also Politikversagen vorliegt, weil

- **die volkswirtschaftlichen Kosten von Maßnahmen nicht voll erfasst und keine Alternativen geprüft werden,** wie z.B. bei der Energiewende, wo durch überhöhte Einspeisetarife für Ökostrom Stromüberschüsse produziert werden, die gegen Entgelt an andere Länder abgegeben werden müssen und die die Stromverbraucher mit jährlich über 20 Milliarden Euro zusätzlich belasten. Außerdem sind die Speichertechnologien noch nicht so weit, um den Strom von Nord nach Süd zu leiten, oder werden von Bürgerinitiativen gestoppt.
- **die kumulative Wirkung zahlreicher Einzelmaßnahmen für die landwirtschaftlichen Betriebe unterschätzt und damit deren Wettbe-**

werbsfähigkeit geschwächt wird, wie z.B. die Einhaltung des Fachrechts und zusätzlich die vorgeschlagene Pflanzenschutzmittelbesteuerung. Die Frage ist dabei, wozu bedarf es noch einer PSM-Steuer, wenn doch in der EU die weltweit strengsten Prüfungs- und Zulassungsverfahren gelten, die Pflicht zum Sachkundenachweis sowie die Einhaltung des Fachrechts mit guter fachlicher Praxis eine Gefährdung für Mensch, Tier und Umwelt ausschließen und diese Standards auch ihre Wirkung zeigen? Muss nicht bei diesen Standards angesetzt werden, um Fehlverhalten zu vermeiden, bevor eine Steuer auch jene bestraft, die sich an die Regeln halten? Im Übrigen geht es um eine Risikoreduzierung und nicht um eine reine Mengenreduzierung, die aus folgenden Gründen kritisch zu sehen wäre:

- Größere Ertragsschwankungen
- Zunahme der N-Überschüsse
- Mehr illegale PSM-Importe
- Qualitätsminderung pflanzlicher Produkte
- Gesundheitsgefahren durch hochtoxische Mykotoxine
- Abwanderung der Produktion ins Ausland (vgl. Tabelle 1)
- Mehr Importe, weniger Exporte (ebenda)
- Diskriminierung konventioneller Betriebe
- Mehreinsatz steuerlich gering belasteter PSM
- Resistenzbildung bei weniger Wirkstoffen

- **durch nationale Alleingänge Marktanteile verloren gehen** (z.B. frühzeitiges Verbot der Käfighaltung, vgl. Schaubild 8).
- **an falschen Bemessungsgrundlagen angesetzt wird und dadurch marginale Umweltverbesserungen mit hohen volkswirtschaftlichen Kosten erkauft werden (z.B. Schließung der Eiweißlücke in der EU zur Rettung des Regenwaldes).** Zu rechnen wäre mit hohen Exporteinbrüchen in Deutschland bei Fleisch-, Milch- und Getreideprodukten (vgl. Tabelle 2) und jährlich etwa 10 Milliarden Euro an Wohlfahrtsverlusten. Dabei könnte man mit Maßnahmen vor Ort (z.B. brasilianisches Schutzprogramm für den Regenwald) sehr viel mehr erreichen, trotz zunehmender Sojaflächen und wachsender Rinderherden (vgl. Schaubild 9), ohne den Futtermittelhandel mit Europa zu beschränken.
- **Politik gefühlte und medial befeuerte Ängste im Rahmen einer modernen Landbewirtschaftung höher bewertet als fachlich fundierte und wissenschaftlich belegte Sachzusammenhänge und Fakten.** So ist beispielsweise in der wissenschaftlichen Literatur hinreichend belegt,

dass Spekulanten an Warenterminmärkten nicht für die Preisvolatilitäten an Weltagrarmärkten und auch nicht für den Hunger in der Welt verantwortlich sind. Unter dem Stichwort: „Spekulation mit Nahrungsmitteln“ wird das Thema gleichwohl immer wieder von zivilgesellschaftlichen Organisationen aufgegriffen und angeprangert. Es ist offensichtlich leichter, schnell Sündenböcke zu finden, wie Spekulanten, Konzerne und Investoren, als sich mit komplexen Sachverhalten auseinanderzusetzen (vgl. Schaubild 10 zum Dilemma der Wissenschaft).

Selbst in den Medien wird diese Aufklärungsarbeit nicht mehr gleistet. Zeitungen, Fernsehen und sogar Schulbücher liefern oft ein extrem verzerrtes Bild von der deutschen Landwirtschaft und vereinzelte Missstände werden als repräsentativ verkauft. Nicht zuletzt durch diese „mediale Verführung der öffentlichen Meinung und Wähler kommt es zur Überproduktion von Nachhaltigkeitsgütern“ durch die Politik (sinngemäßes Zitat aus einem Vortrag für die Vereinigte Hagelversicherung von Prof. Henning, CAU – Kiel, im November 2015).

Um solche Fehler des Politikversagens zukünftig zu vermeiden, sind u.a. auch alle Maßnahmen der 2. Säule noch einmal auf ihre Treffsicherheit und Effizienz hin zu untersuchen, wie es der Europäische Rechtshof regelmäßig anmahnt und es bei einer weiteren Mittelaufstockung auch dringend notwendig wäre. Und dass bei allen berechtigten Schutzpolitiken (Umwelt-, Natur-, Klima-, Tier- und Verbraucherschutz) auch die Erzeuger und ihre Familien zu schützen sind, sollte selbstverständlich sein. Ohne Sicherung der wirtschaftlichen Grundlagen der Betriebe sind nämlich auch die ökologischen und sozialen Komponenten der Nachhaltigkeit gefährdet und kann eine EU-Agrarpolitik nicht zukunftsfähig sein.

Schaubild 1:

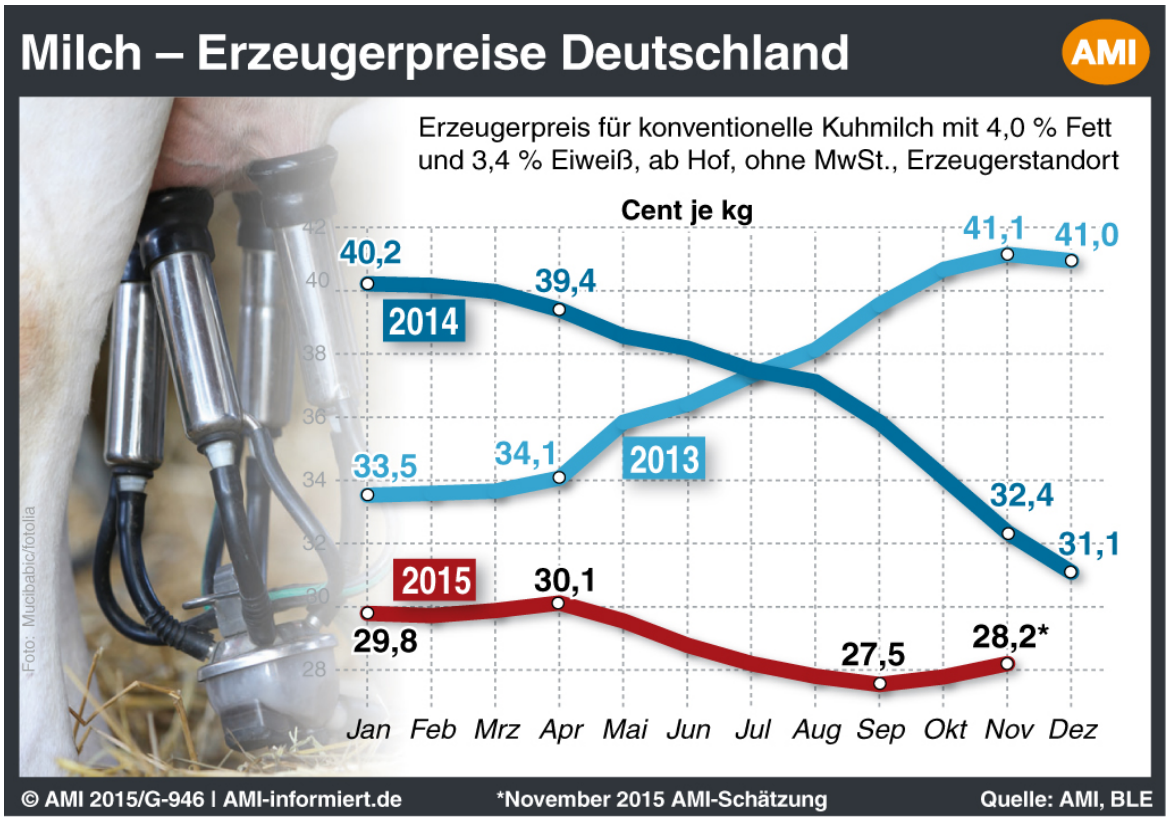


Schaubild 2:

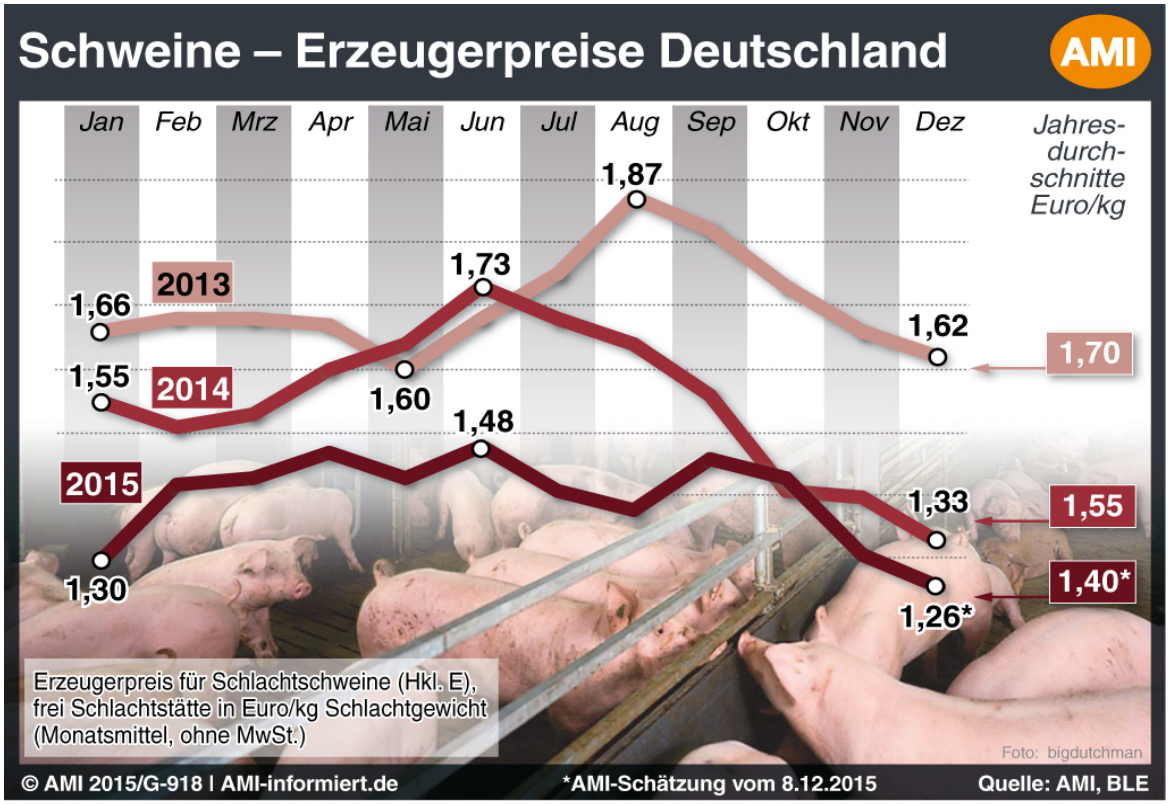


Schaubild 3: **EU-Exporterstattungen laufen aus**

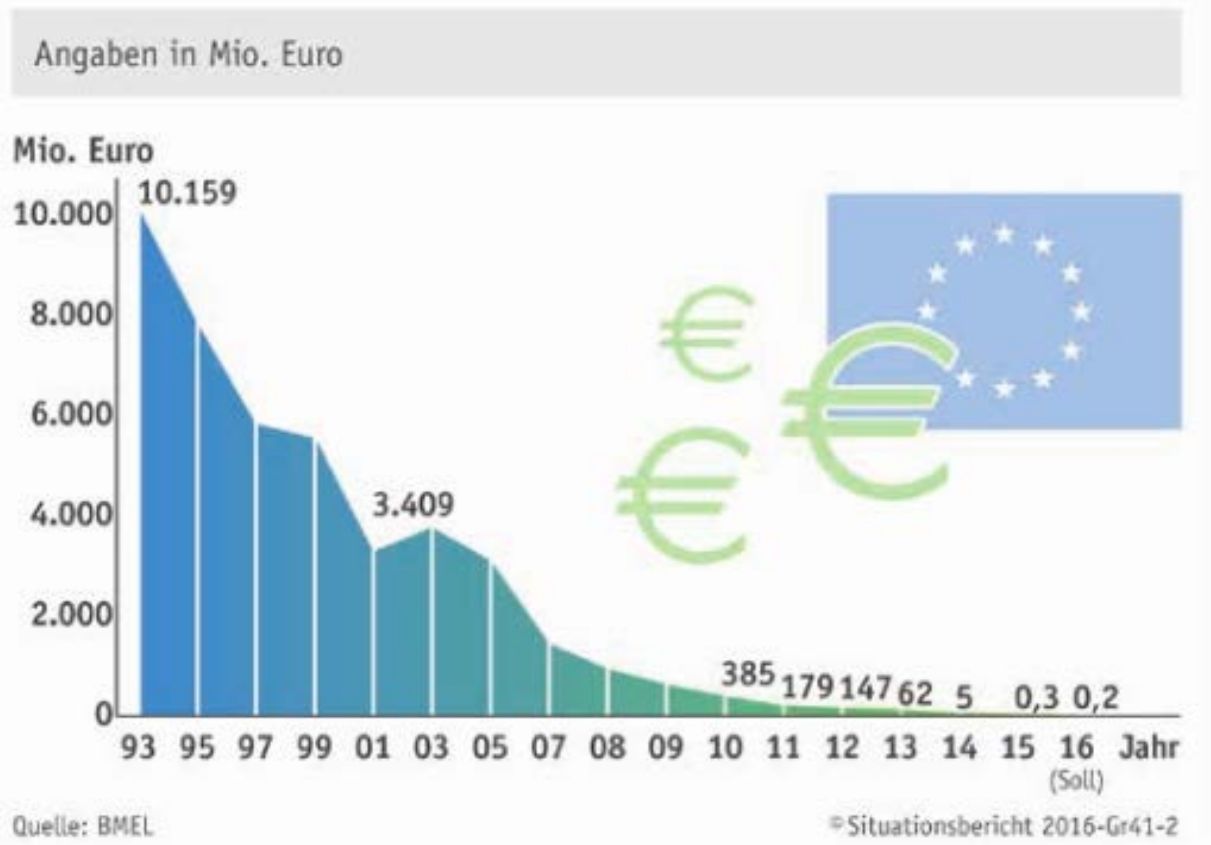


Schaubild 4:

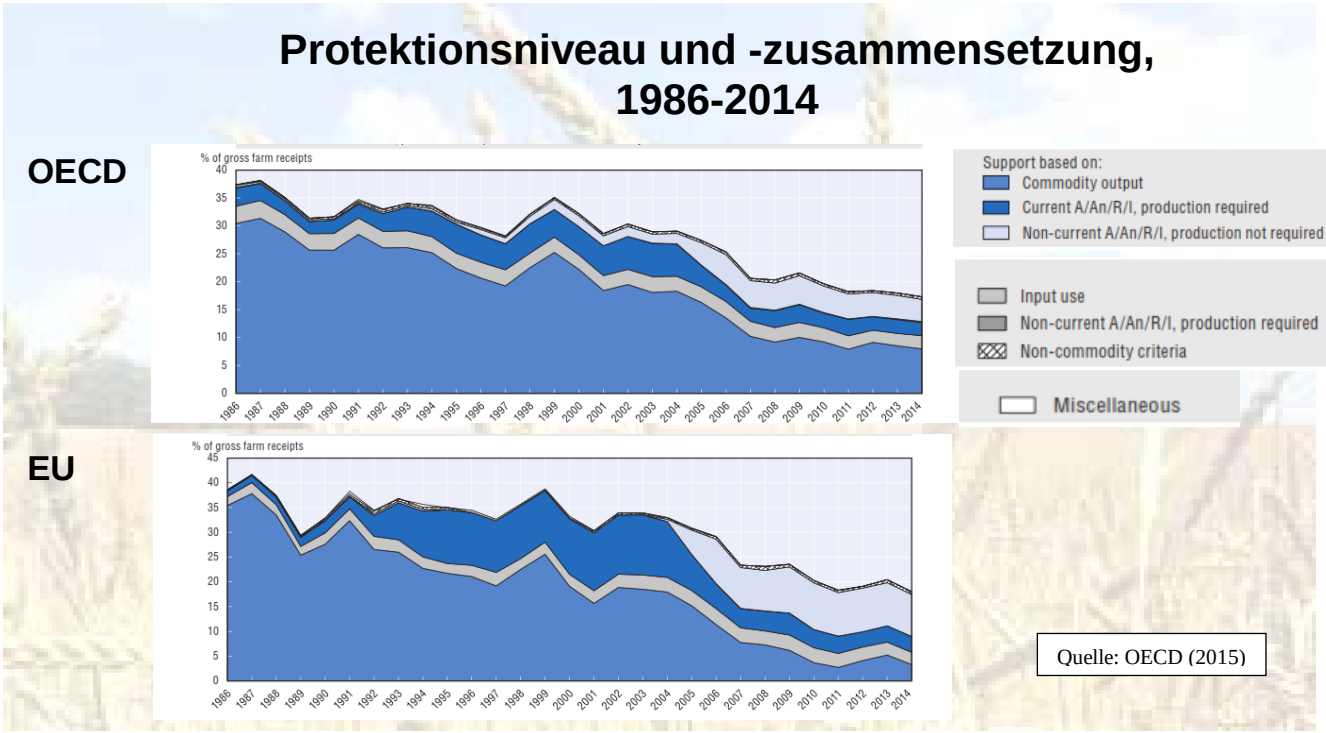
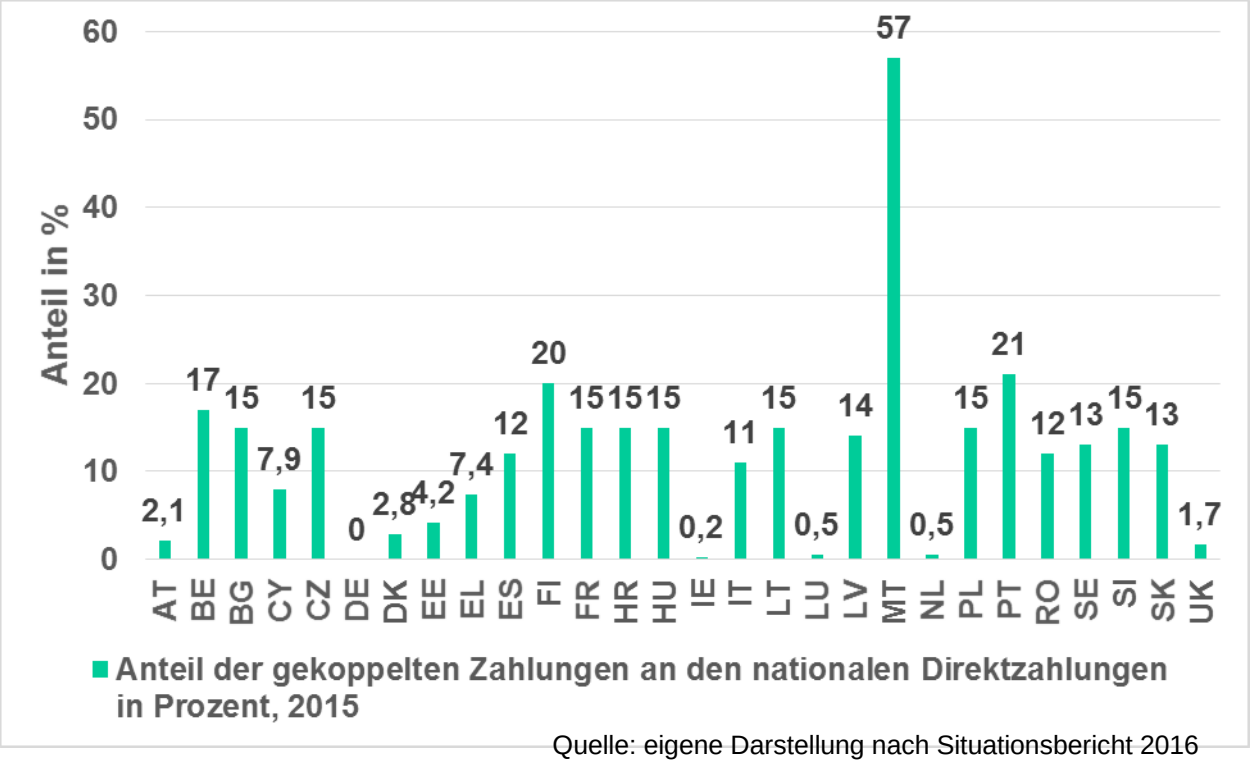


Schaubild 5: **Anteil der gekoppelten Zahlungen an den nationalen Direktzahlungen in Prozent, 2015**



Quelle: eigene Darstellung nach Situationsbericht 2016

Schaubild 6: **Präzisionslandwirtschaft: Intelligent, produktiv und nachhaltig**

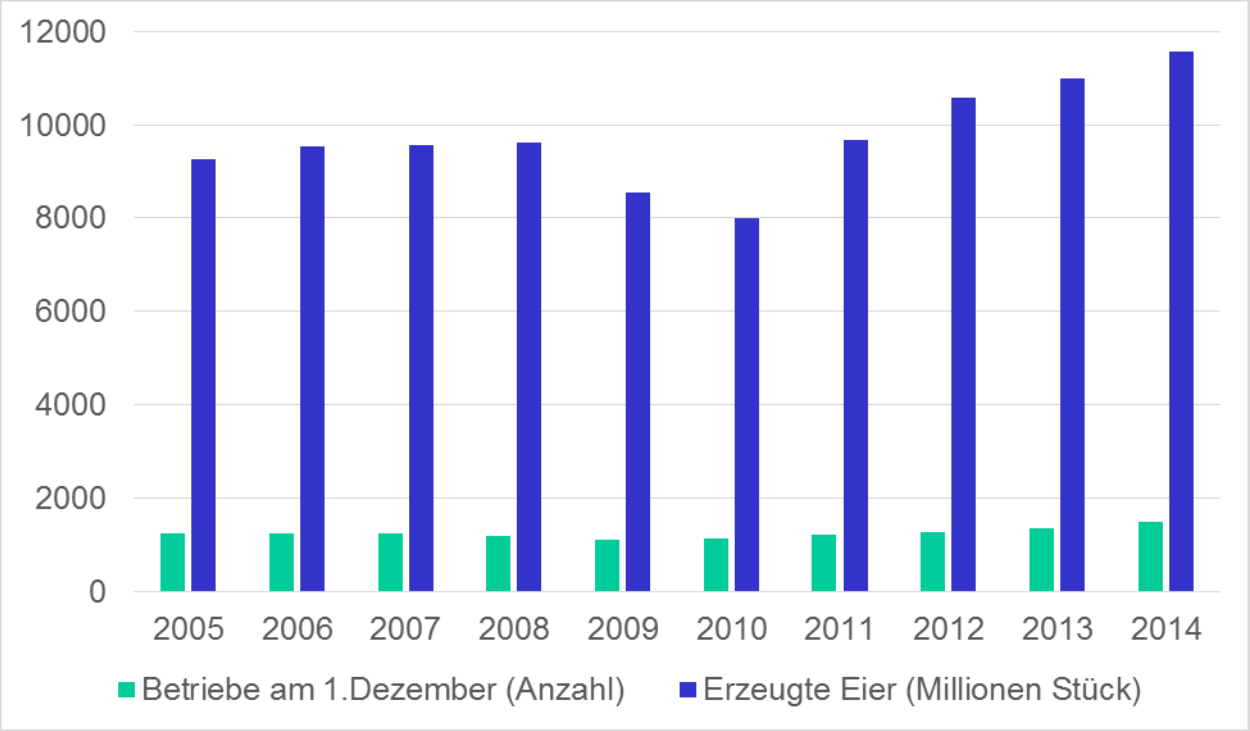
Schaubild 7:

Tabelle 1:

Effekte einer 35%igen Reduzierung des PSM-Einsatzes in Deutschland			
Produkte	**Produktion**	**Exporte**	**Importe**
Weizen	-12%	-22%	+5%
Futtergetreide	-12%	-20%	+6%
Ölsaaten	-9%	-15%	+1%
Obst und Gemüse	-6%	-14%	+3%
Zuckerrüben	-5%	-19%	+8%
Sonst. pflanzl. Produkte	-8%	-12%	+0,5%

Quelle: Eigene Berechnungen mit dem GTAP-Modell

Schaubild 8: **Eiererzeugung von 2005 bis 2014 in Deutschland**



Quelle: eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2016

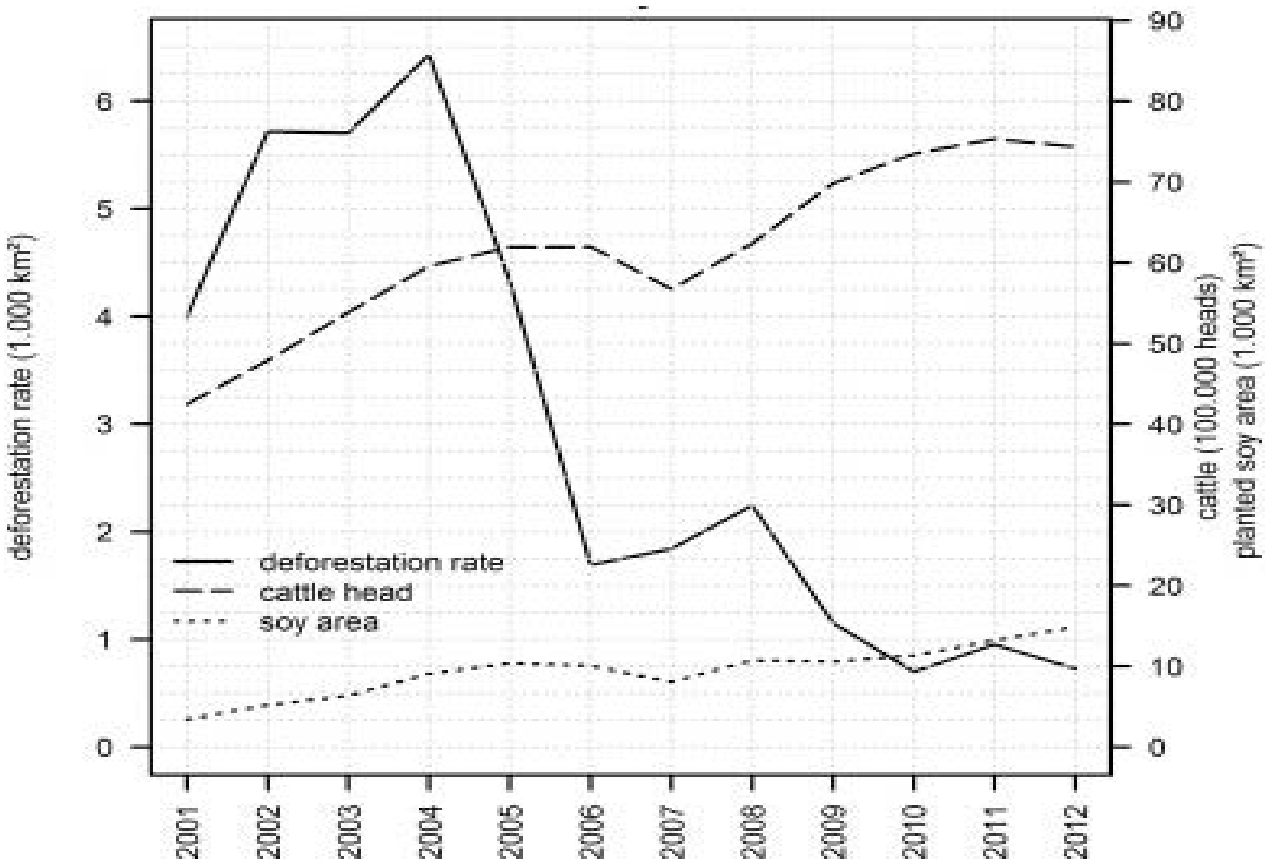
Tabelle 2: **Simulierter Importstopp für Sojabohnen**

– Auswirkungen auf die Exporte –

Exporte	Importstopp EU-28	Importstopp Deutschland
- Weizen	- 22,9% für D - 4,8% für EU	- 27,8% für D + 2,5% für EU
- Rindfleisch	- 7,5% für D - 3,0% für EU	- 6,4% für D + 0,7% für EU
- Schweine/Geflügelfleisch	- 11,4% für D - 2,0% für EU	- 13% für D + 1,6% für EU
- Milchprodukte	- 12,8% für D + 0,3% für EU	- 14,7% für D + 2,4% für EU

Quelle: Eigene Berechnungen

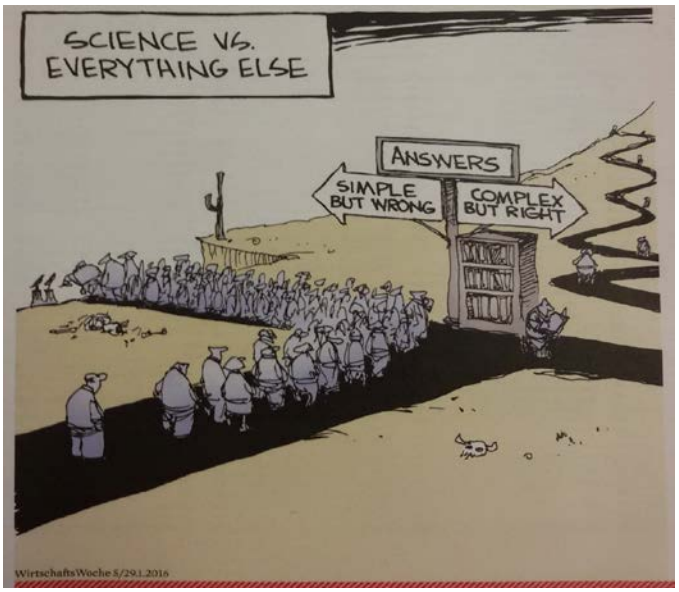
Schaubild 9: **Entwicklung der Regenwaldzerstörung, des Rinderbestandes und der Sojabohnen-Anbauflächen in Brasilien (2001 bis 2012)**



Quelle: GOLLNOW und LAKES, 2014

Schaubild 10:

Das Dilemma der Wissenschaft



EU-Agrarpolitik aus Sicht der Welternährungssicherung und Ressourcenschonung

Luca Montanarella

Europäische Kommission - Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability

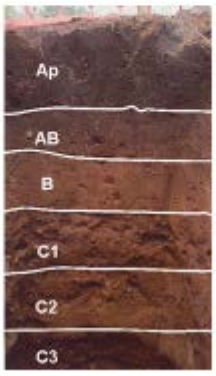
Aufgaben der Landwirtschaft im Verlauf von 50 Jahren

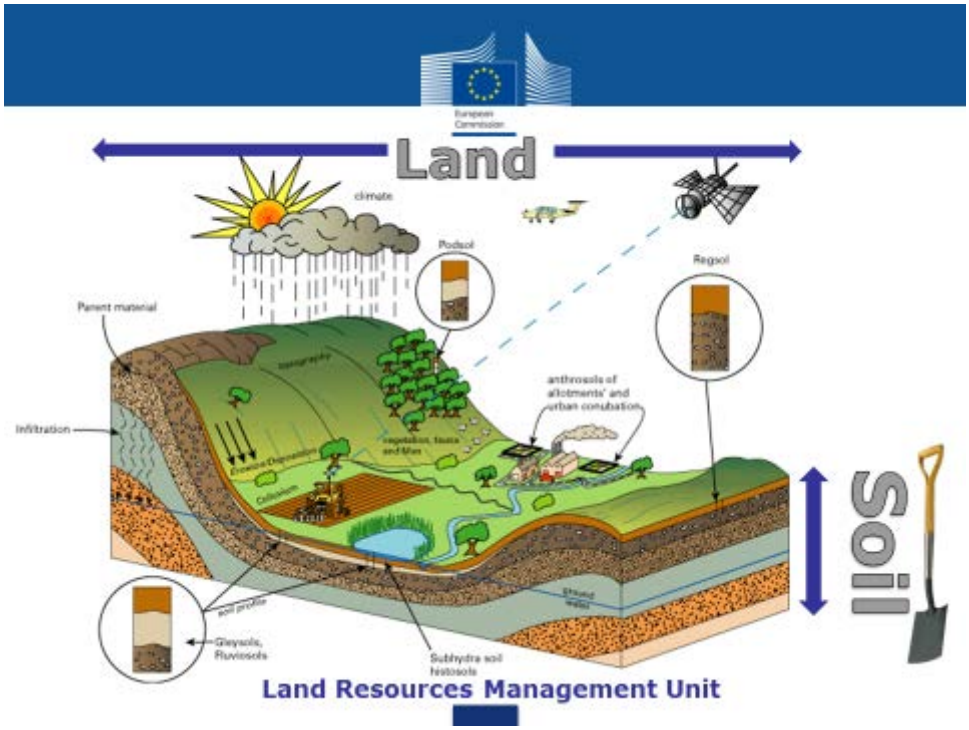
Die 1962 eingeführte Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU ist eine Partnerschaft zwischen der Landwirtschaft und der Gesellschaft, zwischen Europa und seinen Landwirten. Ihre Hauptziele bestehen darin,

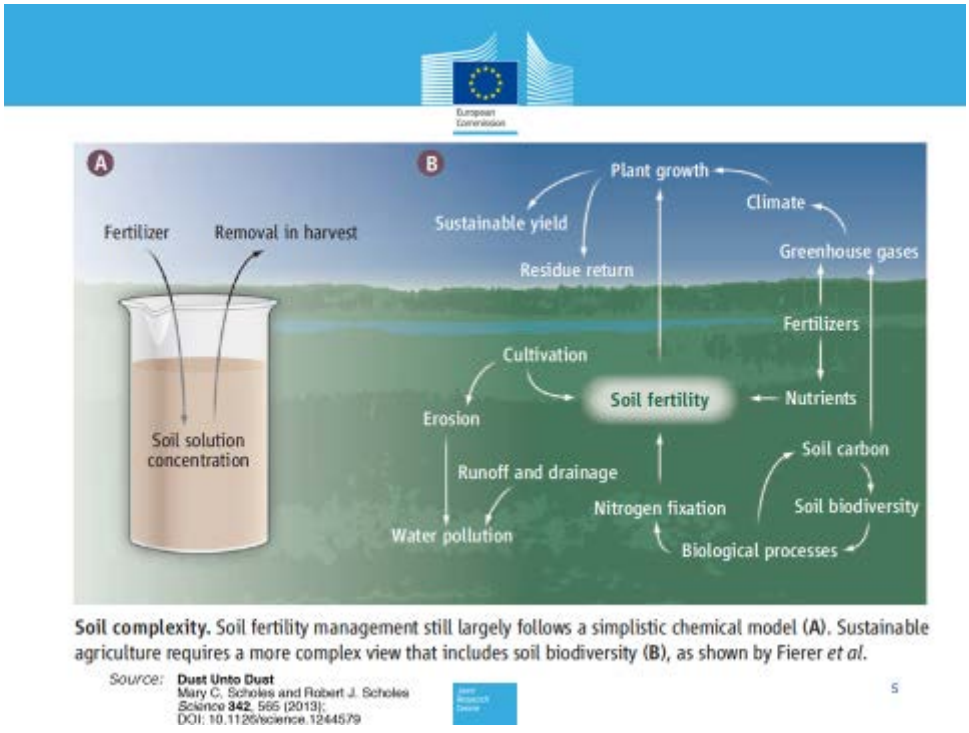
- *die Produktivität der Landwirtschaft zu verbessern, um die Versorgung der Verbraucher mit erschwinglichen Nahrungsmitteln zu sichern, und*
- *sicherzustellen, dass Landwirte in der EU ein angemessenes Einkommen erzielen.*

Heute, 50 Jahre später, muss die EU weitere Herausforderungen bewältigen:

- *Nahrungsmittelsicherheit: Die weltweite Nahrungsmittelproduktion muss verdoppelt werden, um die für 2050 prognostizierte Weltbevölkerung von 9 Milliarden Menschen ernähren zu können;*
- *Klimawandel und nachhaltiger Umgang mit natürlichen Ressourcen;*
- *Landschaftspflege und Erhalt der Wirtschaft im ländlichen Raum.*





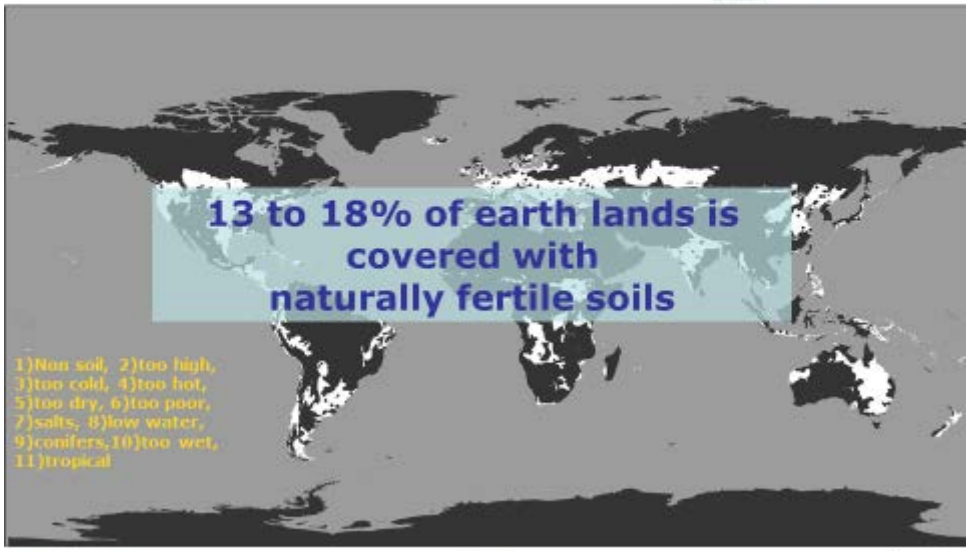


Soil complexity. Soil fertility management still largely follows a simplistic chemical model (**A**). Sustainable agriculture requires a more complex view that includes soil biodiversity (**B**), as shown by Fierer *et al.*

Source: **Dust Unto Dust**
Mary C. Scholes and Robert J. Scholes
Science **342**, 565 (2013);
DOI: 10.1126/science.1244579

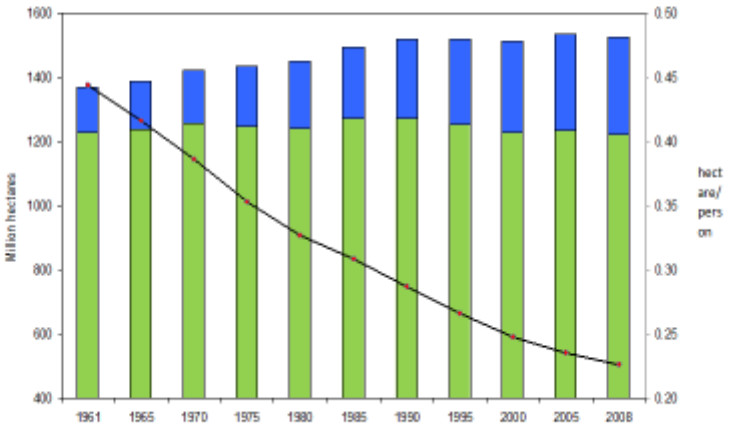
Soil and Food

How much good soil we have ?



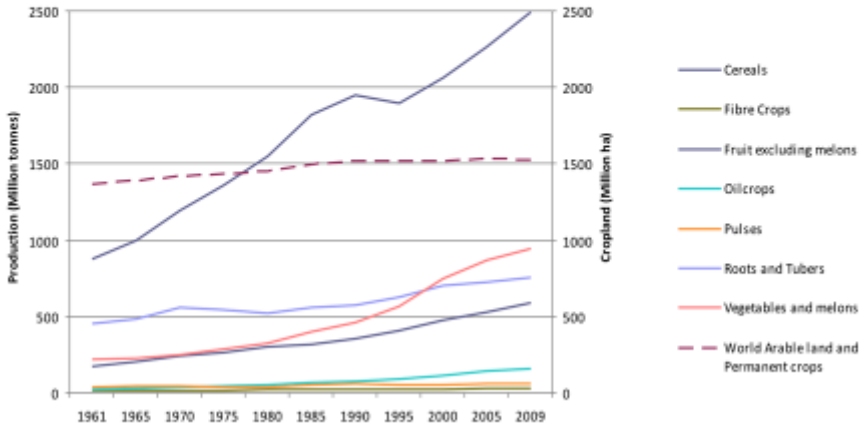
Assuring that there will be enough fertile soils for feeding future generations

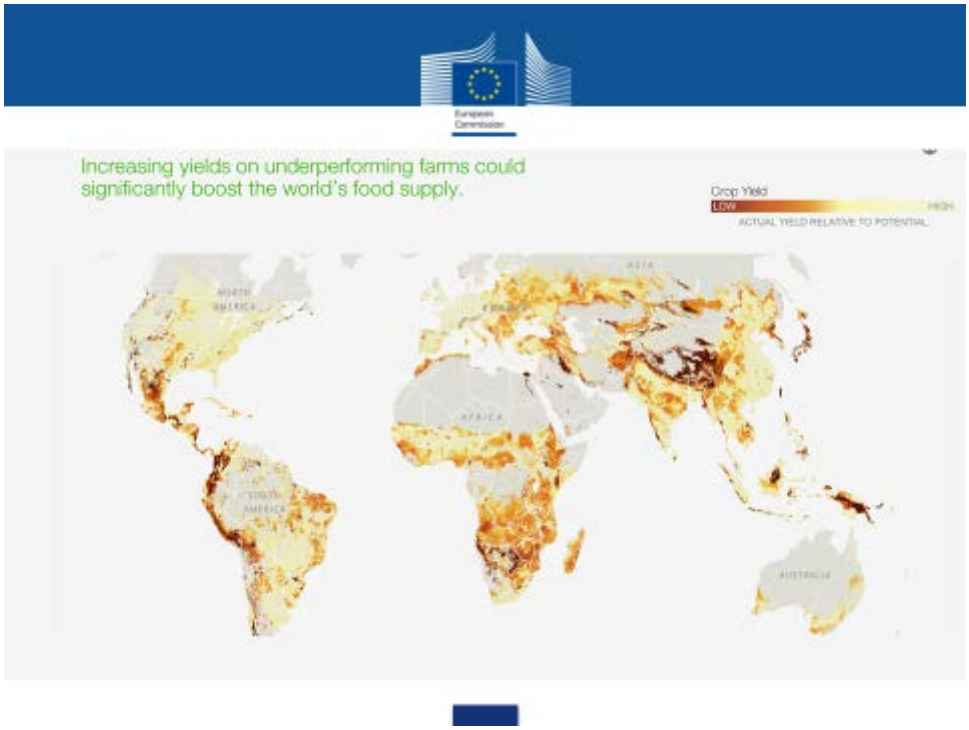
Evolution of land under irrigated and rainfed cropping (1961-2008)

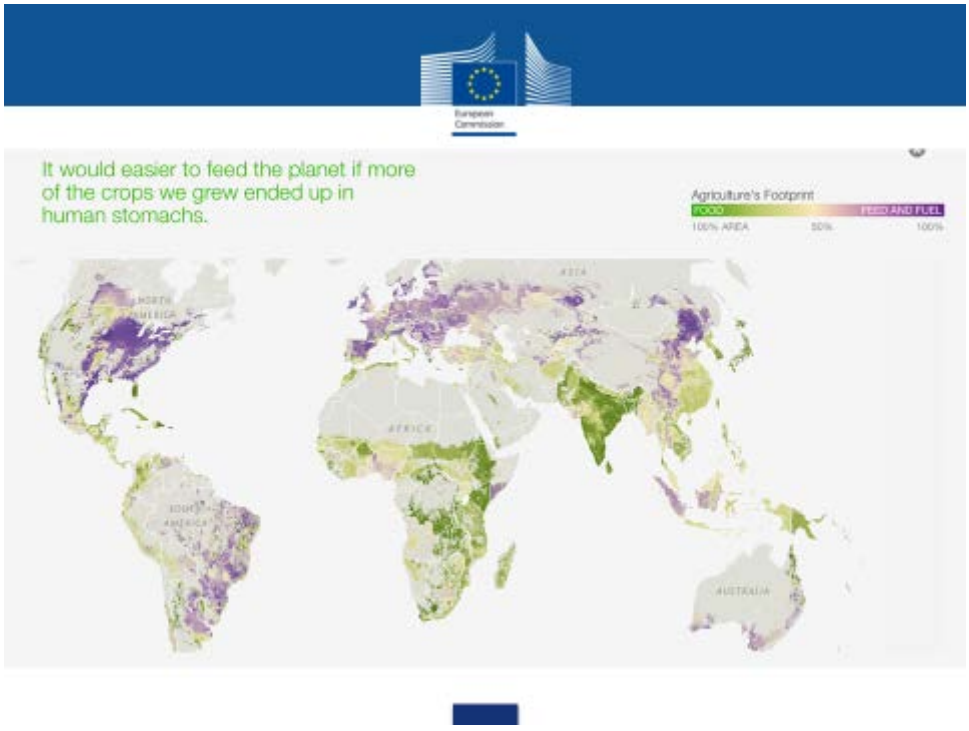


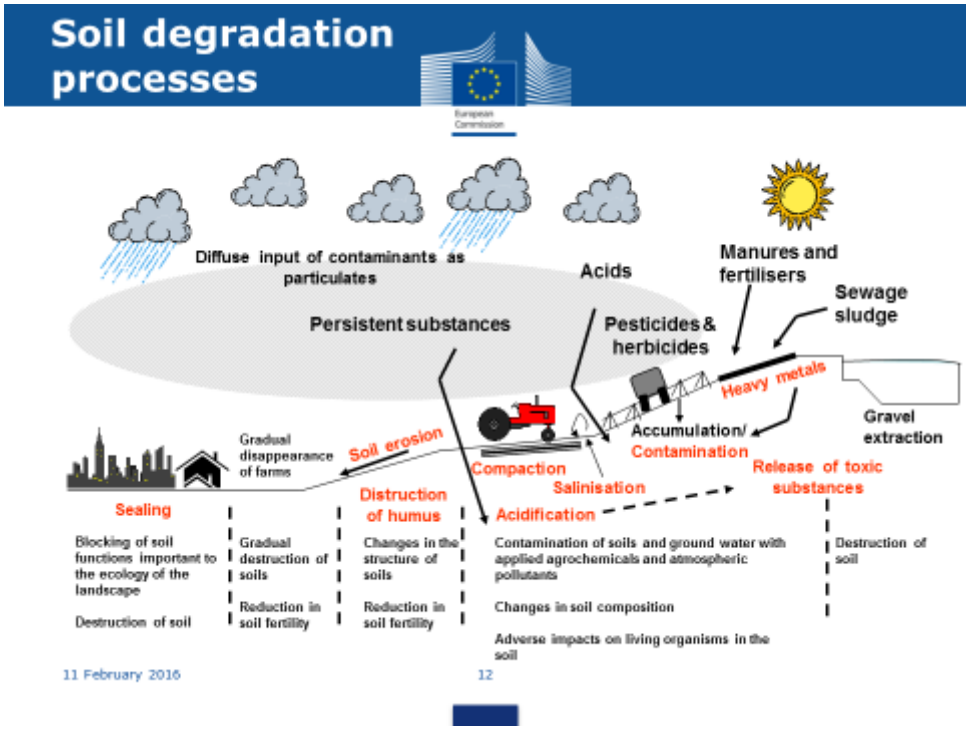
Intensification of agricultural production

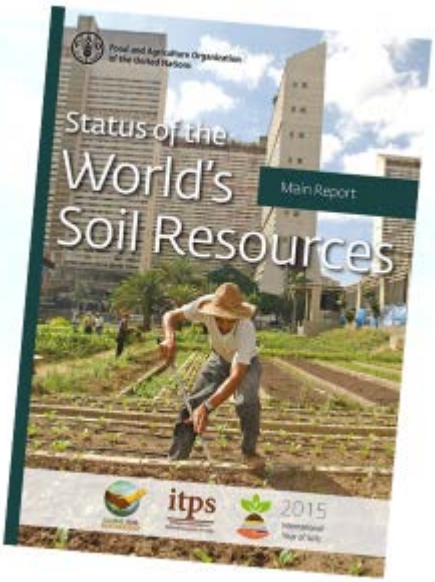
Production: 1961-2009 *(Million tonnes)*




European Commission
Increasing yields on underperforming farms could significantly boost the world's food supply.
Crop Yield
LOW
HIGH
ACTUAL YIELD RELATIVE TO POTENTIAL
NORTH AMERICA
EUROPE
ASIA
AFRICA
SOUTH AMERICA
AUSTRALIA

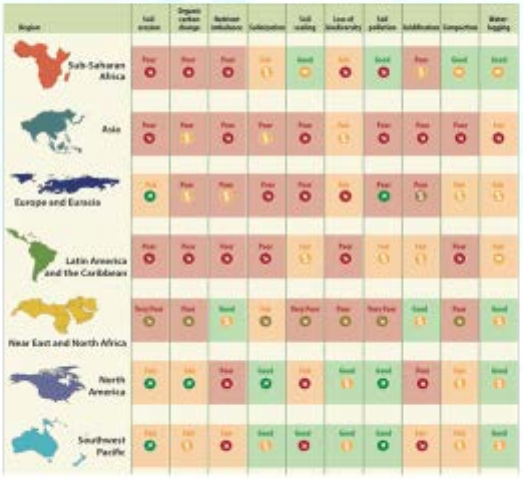

European Commission
It would easier to feed the planet if more of the crops we grew ended up in human stomachs.
Agriculture's Footprint
FOOD
FEED AND FUEL
100% AREA
50%
100%
NORTH AMERICA
ASIA
AFRICA
SOUTH AMERICA
AUSTRALIA


Soil degradation processes
Diffuse input of contaminants as particulates
Acids
Manures and fertilisers
Sewage sludge
Persistent substances
Pesticides & herbicides
Heavy metals
Gravel extraction
Accumulation/ Contamination
Gradual disappearance of farms
Soil erosion
Compaction
Salinisation
Release of toxic substances
Sealing
Distruction of humus
Acidification
Blocking of soil functions important to the ecology of the landscape
Destruction of soil
Gradual destruction of soils
Reduction in soil fertility
Changes in the structure of soils
Reduction in soil fertility
Contamination of soils and ground water with applied agrochemicals and atmospheric pollutants
Changes in soil composition
Adverse impacts on living organisms in the soil
Destruction of soil
11 February 2016
12


Status of the World's Soil Resources
Main Report
itps
2015

World Soil Day
5 December 2015

Summary of Status and Trends of Soil Threats by region

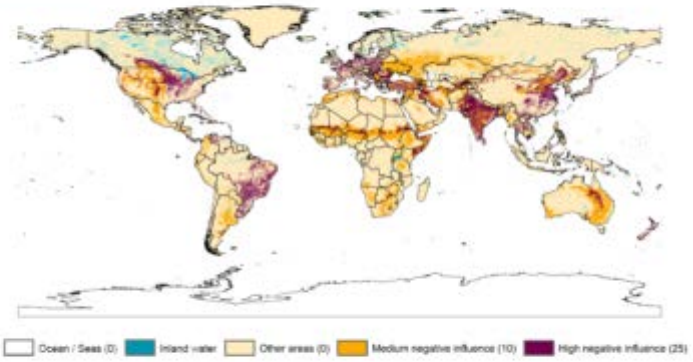


Soil sealing

- Land take and soil sealing are regarded as the greatest threat to soil functions in Europe and Eurasia.
- Over 70% of the land take in the European Union between 1990 and 2000, and over half of the take between 2000 and 2006 consumed agricultural land.
- In 2000, urban areas covered 657,000 km², equivalent to almost 4% of the arable land on the planet.
- Between 1990 and 2006, the total extent of urban area worldwide increased by 58,000 km².

Soil compaction

- Soil compaction has degraded up to 330,000 km^2 in Europe.
- Worldwide compaction has degraded an estimated 680,000 km^2 of soil, or around 4% of the total land area.
- Soil compaction can reduce crop yields by as much as 60 percent.
- Cattle trampling and insufficient cover of top soil by natural vegetation or crops account for compaction of 280,000 km^2 in Africa and Asia.
- The damage caused by soil compaction is long-lasting or even permanent. A one-time compaction event can lead to reduced crop yields up to 12 years later.



Soil compaction risk derived from intensity of tractor use in crop land and from livestock density in grasslands.

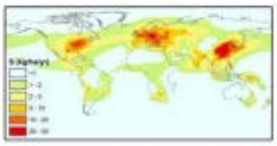
Soil biodiversity

- An estimated 25% of all living species reside in the soil.
- A square meter of soil contains billions of individual organisms and millions of species.
- Fungi and bacteria break down organic waste in the soil, controlling the dynamics of soil organic carbon, and making nutrients available to plants.
- Soil biodiversity is threatened by intensification of land use, and use of chemical fertilizers, pesticides, and herbicides.
- 56% of the European Union has some degree of threat to soil biodiversity.

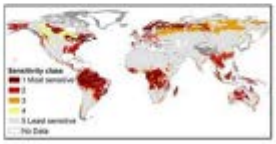
Soil contamination

- Soil contamination damages food security, both because toxic levels of contaminants reduce crop yields and because crops that are produced can be unsafe to consume.
- Nearly a fifth of the farmland in China (19.4%) is contaminated with heavy metals.
- Over 130 million people worldwide routinely consume well-water with arsenic concentrations that exceed WHO recommendations
- More than 2.5 million potentially contaminated sites have been identified in Europe, of which 340,000 are expected to be contaminated.

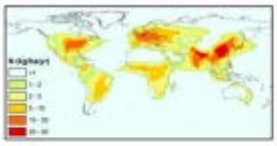
a) Atmospheric sulphur deposition (2001)



b) Soil sensitivity to acidification



c) Atmospheric nitrogen deposition (2001)



Global distribution of (a) atmospheric S deposition, (b) soil sensitivity to acidification and (c) atmospheric N deposition.

BBC NEWS CHINA

News Sport Weather Capital Future

Home World Asia India China UK Business Health Science/Environment Technology Entertain

16 April 2014 Last updated at 10:09

Report: One fifth of China's soil contaminated

Rapid industrialisation has benefited many - but has had a huge impact on the environment

Almost a fifth of China's soil is contaminated, an official study released by the government has shown.

Conducted between 2005-2013, it found that 16.1% of China's soil and 19.4% of its arable land showed contamination.

The report, by the Environmental Protection Ministry, named cadmium, nickel and arsenic as top pollutants.

There is growing concern, both from the government and the public, that China's rapid industrialisation is causing irreparable damage to its environment.

The study took samples across an area of 6.3 million square kilometres, two-thirds of China's land area.

Related Stories

Clashes at China environmental rally

Understanding the politics of Chinese smog

China's coal addiction 'shortens lives'

Reportage

Italian "Triangle of death" linked to waste crisis

Kathryn Senior and Alfredo Mazza

The environmental waste problem in southern Italy is now reaching epic proportions and the problem has been linked to increasing rates of cancer. At the end of June, 2004, protestors blocked the rail links between northern and southern Italy, complaining about the re-opening of a previously condemned rubbish dump. The dump was brought back into service after household waste built up in the streets of the Campania region, causing schools to close because of the public-health risks. The region around Salerno and Naples produces more rubbish than the landfills and incinerators in the region can cope with, and organised crime in Italy has been taking advantage and turning illegal waste dumping into a lucrative business for years. Kathryn Senior and Alfredo Mazza explore the possible effect on cancer mortality in the region around the town of Nola.

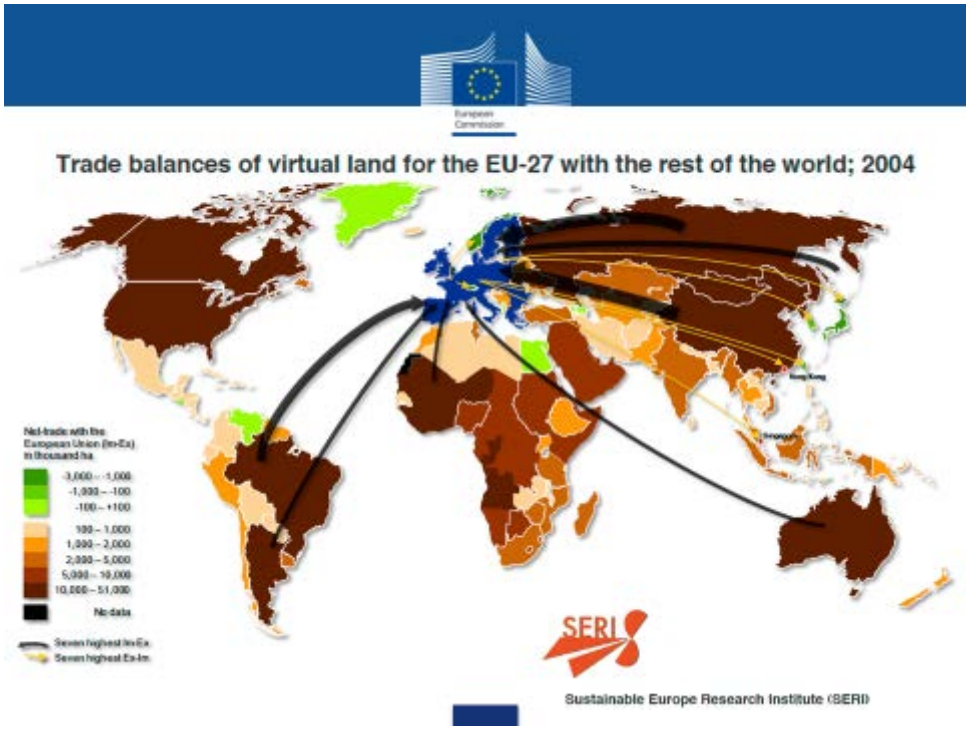
Over the past few years, the processing of industrial and urban waste has become an environmental and political issue for Italy. Recycling and disposal of waste in a safe, cost-effective way has become almost impossible. The constant increase in the amount of waste, both organic and toxic, places a great burden on ageing waste-processing plants. Many minor processing facilities designed to handle waste from small urban communities have been overwhelmed by the surplus waste they receive from other regions even less able to cope. "Even modern plants can be a health risk because they have become parking lots for huge amounts of unclassified garbage", explains Alfredo Mazza (Clinical Physiology Unit, National Research Council, Pisa, Italy). The need to dispose of waste has, for at least the past 20 years, given organised crime in the area the opportunity to take advantage and to dump waste illegally for profit.

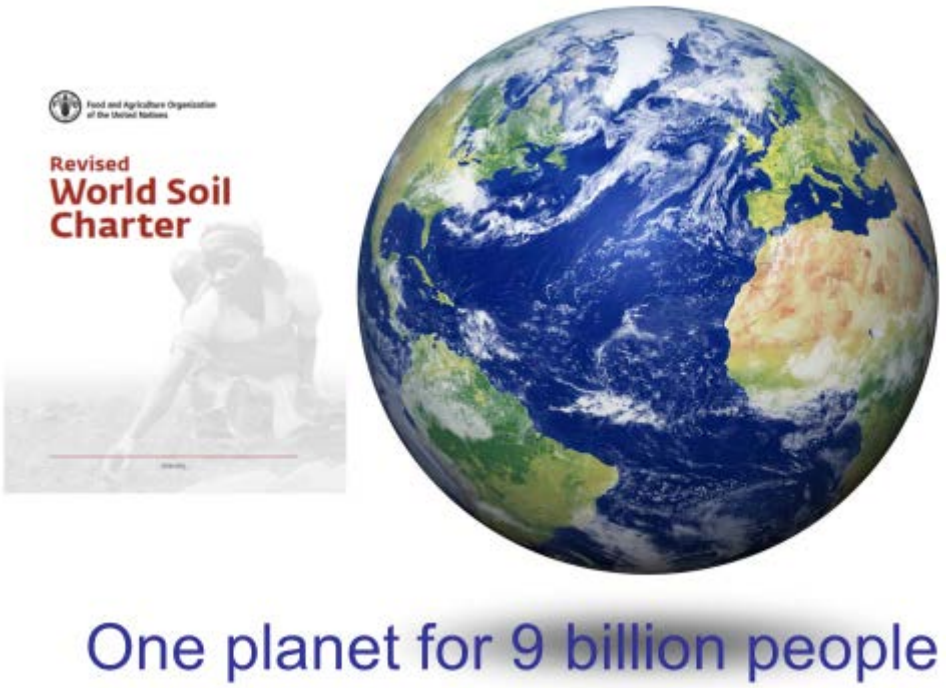
Many landfills today are working at full potential and cannot process the waste they receive according to environmental regulations. Because of this emergency, local and regional administrations have allocated financial resources for recycling programmes and for construction of new, technologically advanced waste-processing facilities. These funds, however, have also given criminal organisations new opportunities for fraud and illegal exploitation. "Today, the difference between lawful management of waste and illegal manipulation with regard to their compliance with health regulations is very narrow, and the health risks are rising", comments Mazza.

The situation has come to the attention of the European Commission, which, in July this year, sent out warning letters to Italy about 28 cases of breaches of the European Union's environmental laws. The 5000 illegal or uncontrolled landfill sites in Italy drew particular criticism; Italy has already been warned twice for flouting the Hazardous Waste Directive and the Landfill Directive, and the EU has now referred Italy to the European Court of Justice for further action.

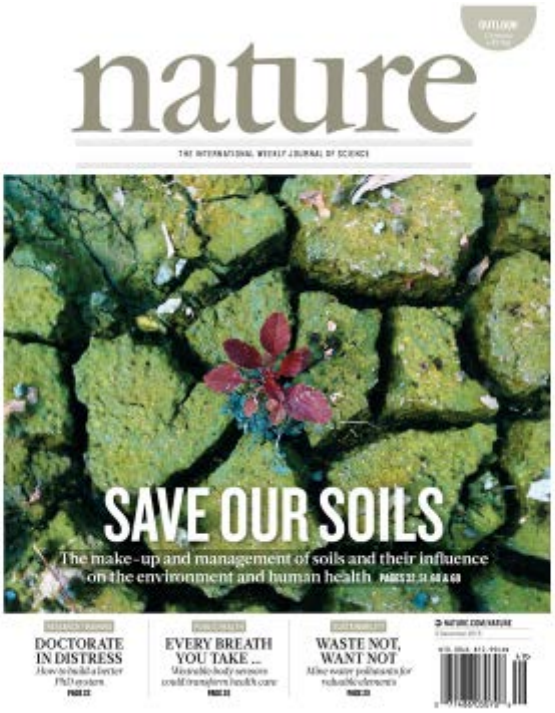
Recognising the extent of the waste problem and trying to enforce legislation and curb the activities of the mafia-run is a bid to protect inhabitants of affected areas is only part of the story. Few studies have been done on the effect of waste treatment on human health, and assessing the health effect generally and the effect on cancer incidence and mortality is likely to be a difficult task. In the 1990s, Goldberg and colleagues (Montreal, Canada) suggested that men living near a municipal solid-waste landfill site in Montreal were at a higher risk of developing cancers of the liver, kidneys, pancreas, and non-Hodgkin's lymphoma.[1] More recently, studies have shown that living close to a waste-incineration plant is associated with an increase in cancer incidence. Comba and colleagues[2] reported that residence within a 2-km radius of an industrial waste incinerator in Mantua, Italy, was associated with a significant increase in risk of soft-tissue sarcomas. The evidence suggested a causal role for 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin.[3]

Stefano Parodi (Epidemiology and Biostatistics Section, Scientific Directorate, G Gaslini Children's Hospital, Genoa, Italy) and colleagues looked at lung cancer mortality in two districts of northern Italy exposed to environmental pollution emitted by a coal-fired power





One planet for 9 billion people


nature
THE INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE
SAVE OUR SOILS
The make-up and management of soils and their influence on the environment and human health
DOCTORATE IN DISTRESS
EVERY BREATH YOU TAKE ...
WASTE NOT, WANT NOT

European Commission
GLOBAL SOIL PARTNERSHIP
itps
INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS
Danke!
Ah
Go
Gr
Humoser Oberboden
Bodenhorizont mit Rostflecken im Grundwasserschwankungsbereich
Bodenhorizont im Wassersättigungsbereich
http://esdac.jrc.ec.europa.eu/

Rückblick: Ein Jahr nach der Milchquote – Erste Erfahrungen mit einem liberalisierten Milchmarkt

Sebastian Hess

Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrechts-Universität Kiel

Unter dem Eindruck anhaltend niedriger Milchauszahlungspreise und steigender Milchanlieferung wird auch nach Ende der europäischen Milchquote (am 31. März 2015) weiterhin über eine kollektive Begrenzung der in Europa zu produzierenden Milchmenge diskutiert. Ein Grund hierfür könnte sein, dass eine gemeinsame Mengensteuerung auf den ersten Blick als vergleichsweise einfaches und wirkungsvolles Instrument zur Vermeidung niedriger Milchpreisphasen erscheint.

Ordnet man jedoch die Situation auf den Milchmärkten zum Jahreswechsel 2015 und 2016 in das längerfristige Marktgeschehen ein, so zeigt sich, dass der durchschnittliche deutsche Milchauszahlungspreis langfristig einen steigenden Trend aufweist, aber seit dem Jahr 2007 um diesen Trend herum wesentlich volatiler geworden ist. Die Jahre 2009, 2012 und 2015 markieren dabei Phasen relativ niedriger-, die Jahre 2007 und 2013 relativ hoher Erzeugerpreise[1] (EU Kommission 2016). Ein Markt mit höherer Volatilität bedeutet größere Chancen zu profitieren, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit für Niedrigpreisphasen, auf welche die Betriebe mit Liquiditätsreserven vorbereitet sein müssen, steigt ebenfalls.

Hat das Ende der Milchquote einen Einfluss auf diese Entwicklungen? Hierzu muss auf die Milchquotenregelung seit ihrer Einführung zurückgeblickt werden. In den Jahren von 2008-2013 hatte bereits eine kontinuierliche Erhöhung der Quotenmenge stattgefunden, d.h. der Milchmarkt wurde während dieses Zeitraums bereits schrittweise liberalisiert. Die Ausweitung der deutschen Produktionsmenge bewegte sich zunächst im Rahmen dieser Quotenerhöhung, aber ist seit den Jahren 2013/14 deutlich über die nationale Quotenmenge hinausgewachsen. Diese Ausweitung der produzierten Milchmenge ging, gemessen am dreijährigen Preisdurchschnitt, mit ansteigenden Milchpreisen einher. Bestünde ein starker Zusammenhang zwischen Milchauszahlungspreis und Quotenmenge,

[1] Variationskoeffizient des Auszahlungspreises in Deutschland 2001-2006 ca. 0,08; 2007-2015 ca. 0,15.

hätte der durchschnittliche Auszahlungspreis in dieser Phase jedoch fallen müssen.

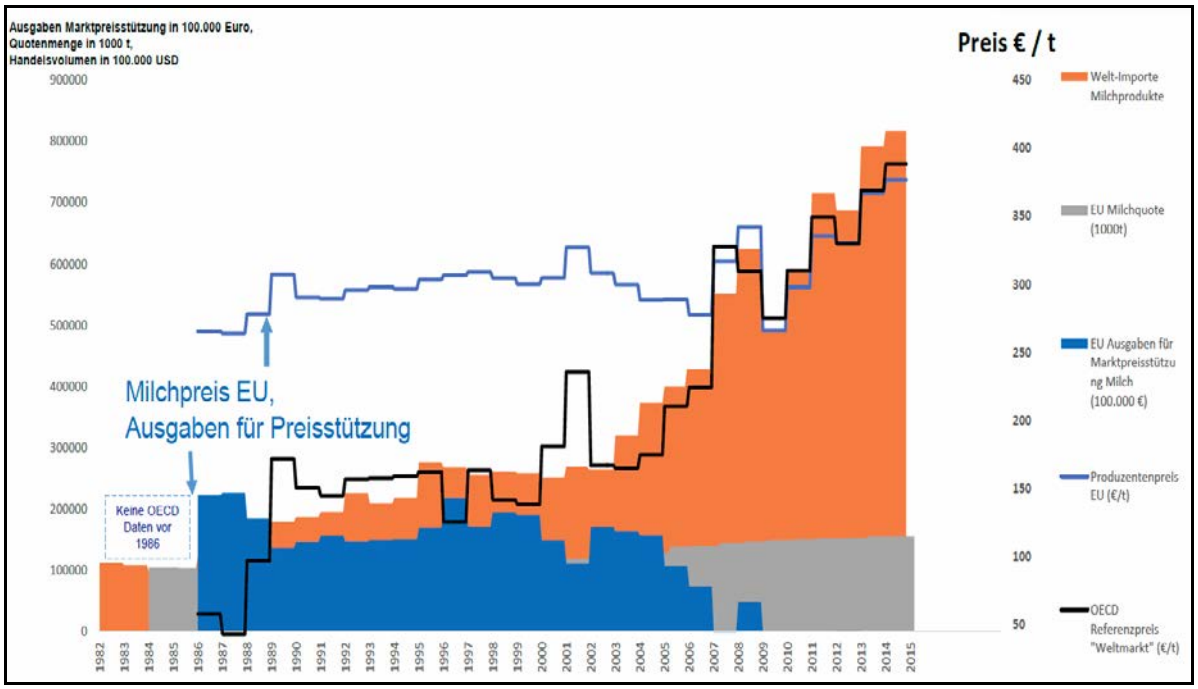


Abbildung: Kein Zusammenhang zwischen Quote und Milchpreis. Relevant war bis 2007 die Marktpreisstützung und seit dem überwiegend der Weltmarktpreis. Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten der OECD (2016) und Comtrade (2016).

Im gesamteuropäischen Kontext kann ein ähnlicher Effekt beobachtet werden (Abbildung): Vergleicht man die Änderung des durchschnittlichen europäischen Milchauszahlungspreises mit dem gesamten Importwert aller weltweit pro Jahr importierten Milchprodukte, so zeigt sich im rechten Teil der Abbildung seit dem Jahr 2007 eine sehr hohe Übereinstimmung beider Zeitreihen. Dies bedeutet, dass in diesem Zeitraum die globale Nachfrage nach Milchprodukten für die Preisbildung in Europa und Deutschland maßgeblich war. Es kann zwar nicht ausgeschlossen werden, dass die Begrenzung der europäischen Produktionsmenge in diesem Zeitraum auch einen zusätzlich preissteigernden Effekt gehabt haben könnte, aber der Effekt des Weltmarktes überwog offenbar bei weitem.
Vor dem Jahr 2007, in Zeiten niedriger Welt-Importnachfrage, war die europäische Milchmengenbegrenzung hingegen bei weitem nicht in der Lage, den Weltmarktpreis auf das Niveau des EU-Preises anzuheben. Vielmehr entwickelte sich das Niveau des europäischen Milchauszahlungspreises seit Einführung der Quote 1984 in etwa proportional zu den EU- Ausgaben für Marktpreisstützung im Milchsektor. Diese Beobachtungen legen nahe, dass die mengenmäßige Begrenzung der europäischen Milchmenge weder in Zeiten hoher- noch in Zei-

ten niedriger Weltmarktpreise einen relevanten Effekt auf den europäischen Milchauszahlungspreis hatte.
Schaut man auf die agrarpolitische Diskussion in den Jahren vor Einführung der Milchquote, so zeigt sich zudem, dass dies auch nie ein vorrangiges Ziel der Politik war. Vielmehr wurde die Milchmengenbegrenzung eingeführt, um die Produktionsanreize, welche einigen Milcherzeugern durch die EU-Ausgaben für Marktpreisstützung entstanden, mit einer Obergrenze zu versehen. Zum Zeitpunkt der Einführung der Milchquote im April 1984 wurde daher in Deutschland insbesondere über den zu erwartenden Einfluss auf den Strukturwandel und weniger über zu erwartende direkte Preiseffekte diskutiert.
Der damalige Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Ignaz Kiechle, sah in der Einführung der Milchmengenbegrenzung eine Möglichkeit, gestützte marktinterventions-gestützte Erzeugerpreise trotz drohender Budgetgrenze weiterhin politisch durchsetzen zu können. Milcherzeuger mit besonders ungünstiger Kostenstruktur können bei vergleichsweise hohen Erzeugerpreisen womöglich noch immer ein gewisses Einkommen erzielen, während eine Ausweitung der Menge für solche Betriebe wahrscheinlich keine nennenswerte Option zur Einkommenssteigerung bedeutete und diese Gruppe von Betrieben daher einer Mengenkürzung wahrscheinlich weniger ablehnend gegenüber stand als einer Preissenkung.
Auch nach Ende der Milchquote wird diskutiert, ob sich die Spielregeln für den landwirtschaftlichen Strukturwandel seit 1. April 2015 verändert haben. Um dies beurteilen zu können, ist es notwendig, einen Blick auf den Strukturwandel der Milchviehhaltung in Deutschland während der Zeit der Milchquote zu werfen:
Seit Einführung der Quote 1984 bis zu ihrem Ende 2015 haben in den alten Bundesländern ca. 80% der Milchviehhalter die Produktion aufgegeben; die Zahl dauerhafter Fremdarbeitskräfte auf größeren Milchviehbetrieben steigt an. Die Rate des Strukturwandels war in den Jahren größerer Preisvolatilität nicht höher als in den Jahren zuvor, und konnte somit weder durch Marktpreisstützung noch durch Milchquote nennenswert verlangsamt werden.
Buchführungsdaten schleswig-holsteinischer Betriebe zeigen in diesem Zusammenhang, dass Größendegressionseffekte zwar relevant sind, aber Unterschiede im innerbetrieblichen Management die stärkste Triebkraft für Strukturwandel bilden (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein 2016): Im Mittel der Jahre 2007-2014 zeigen die Rinderreports für den Abstand der erfolgreichsten 25% spezialisierter Milchviehbetriebe im Vergleich zu den abfallenden 25% über alle Betriebsgrößenklassen hinweg beim kalkulatorischen Betriebszweigergebnis eine Differenz von ca. zwölf Cent je Kilogramm Milch (ECM). Vergleicht man hingegen die kleinste Betriebsgruppe von bis zu 50 Kühen mit der

größten Betriebsgruppe mit mehr als 120 Kühen, so liegt diese Differenz zwischen den kalkulatorischen Betriebszweigergebnissen im Mittel der Jahre 2007-2014 nur bei ca. sechs Cent/kg ECM (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein 2016).
Betriebliche Mengensteuerung bei drohender Überlieferung sowie Entscheidungen rund um Quotenerwerb bedeuteten zudem eigene Risiken, sodass effizientes Quotenmanagement über betrieblichen Erfolg mitentscheiden konnte: In den Jahren 2007-2014 wiesen die 25% erfolgreichsten Betriebe im Schnitt nicht nur niedrigere variable Kosten je Kilogramm ECM auf als das abfallende Viertel der Betriebe, sondern auch niedrigere Kosten für Quotenpacht und Superabgaben. (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein 2016).
Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen einer Befragung unter Mitgliedern eines Beratungsringes für spezialisierte Milchviehbetriebe in Regionen Schleswig-Holstein und Niederrhein im Dezember 2015 folgende Frage gestellt: „Würden Sie sich die Milchquote zurück wünschen?“. Ca. 90 % der Befragten antworteten hierauf mit Nein. Die Gruppe der 10 % Befürworter unterschied sich von den Gegnern im Mittel durch etwas niedrigere Herdengröße, niedrigeren Stalldurchschnitt und insbesondere eine nur in jedem zweiten Fall geklärte Hofnachfolge, während 80% der Quotengegner angaben, eine gesicherte Betriebsnachfolge zu haben, oder der Betrieb war jüngst übernommen worden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Würden Sie sich die Milchquote zurück wünschen? (Mittelwerte der Stichprobe, n=78)

Quote zurück?	%	Anzahl Kühe	Milch-preis	Leistung in kg/Kuh und Jahr	ha	Umsatz-anteil Milch	Alter	Nachfolge geklärt / Betrieb übernommen?
"Nein"	89,7	186	27,1	8841	172	77 %	45	80 %
"Ja"	10,3	127	26,6	8377	122	81 %	52	50 %

Quelle: Befragung im Dezember 2015 unter Milchviehbetrieben in einem Beratungsring in Nord-Westdeutschland, Rexforth (2016).

Aus ökonomischer Sicht legt dieses Ergebnis insbesondere den Abfindungscharakter der Milchquote nahe, d.h. ein wichtiger Effekt der Milchquote war, dass die Produktionsaufgabe durch Veräußerung der Quote einen höheren Wert bekommen konnte als es die Beibehaltung der Produktion erwarten ließ. Aus wissenschaftlicher Sicht wurde nie eindeutig geklärt, ob der Gesamteffekt der Milchquote auf den Strukturwandel eher beschleunigend oder eher verlangsamend war. Möglicherweise haben sich beide Effekte in etwa gegenseitig aufgehoben.

Die europäische Milchquote hatte somit weder einen direkten Einfluss auf die Milcherzeugerpreise, da deren Höhe bis zum Anspringen der Welt-Importnachfrage durch die Ausgaben für Marktpreisstützung bestimmt war, noch konnte die Milchquote den Strukturwandel in der Milchviehhaltung offenbar nennenswert aufhalten.

Die Betrachtung des Strukturwandels in der deutschen Milchviehhaltung wird jedoch mitunter nur auf die Zahl der Betriebe verengt. Weitaus seltener wird diskutiert, dass auch die Zahl der Kühe je Betriebsgrößenklasse einem sehr dynamischen Wandel unterworfen ist. Multipliziert man die Zahl der Kühe je Betriebsgrößenklasse mit der durchschnittlichen Herdenleistung, so ergibt sich, dass im Jahr 2014 die 3% größten Betriebe (mit mehr als 200 Kühen) in Deutschland in etwa so viel Milch produzieren wie die 63% kleinsten (bis 49 Kühe), nämlich je ca. 25% der deutschen Milch. Zehn Jahre zuvor produzierten Betriebe mit mehr als 200 Kühen nur ca. 15 % der deutschen Milch, während 44 % der Milch aus Betrieben mit bis zu 50 Kühen kam (Berechnungen basierend auf Daten des Milch-Industrie Verbandes 2015).

Diese Verschiebung des Milchaufkommens bedeutet, dass Molkereien in Zukunft wahrscheinlich stärker um diejenigen Lieferanten konkurrieren werden, die große Mengen überregional flexibel andienen können, während der Druck auf die Anbieter kleinerer Milchmengen mit ungünstiger Erfassungsstruktur wahrscheinlich deutlich zunehmen wird.

Im Hinblick auf eine wie auch immer ausgestaltete zukünftige Reglementierung der produzierten Milchmenge bedeutet dies aus ökonomischer Sicht, dass es zunehmend schwieriger werden dürfte, eine anteilige Mengenkürzung unabhängig von Betriebsgröße und Verkehrslage durchzusetzen.

Die voranschreitende Differenzierung des Rohstoffs Milch anhand seines Produktionsprozesses[2] wirft zudem die Frage auf, welche Art von Milch in Zukunft überhaupt mengenbegrenzt werden könnte, da differenzierte Wertschöpfungsketten zunehmend unterschiedliche Verwertungen am Markt erzielen: Ein Vergleich von Milchauszahlungspreisen deutscher Molkereien zeigt, dass die Auszahlungspreise zwischen Molkereien je Monat insbesondere während so genannter Milchpreiskrisen zunehmend heterogener werden.

Insgesamt zeigt sich der deutsche und europäische Milchsektor ein Jahr nach Abschaffung der Milchquote im Umbruch: Der Rohstoff Milch wird vielseitiger; Märkte sind volatiler, woraus sich Krisen und Höhenflüge der Auszahlungspreise in relativ enger zeitlicher Abfolge ergeben. Einige Milcherzeuger

[2] Aktuelle Beispiele sind im Jahr 2016 neben „konventioneller Milch“ und „Bio-Milch“ „gentechnikfreie Milch“, „Weidemilch“, „Heu-Milch“, „Bergbauernmilch“. Zudem investieren die größten Molkereien in eigene Qualitäts- und Nachhaltigkeitsprogramme, wodurch sich die Eigenschaften des Rohstoffs am Markt weiter ausdifferenzieren.

und ihre Molkereien werden auch weiterhin im globalen Wettbewerb bestehen können und insbesondere für den Export produzieren. Andere werden sich verstärkt darum bemühen, die inländische Verbraucherakzeptanz zu gewinnen. Die Tatsache, dass Fragen zur Nachhaltigkeit der Milchviehhaltung Teil des gesellschaftlichen Diskurses geworden sind, kann in diesem Zusammenhang für einige Erzeuger somit auch durchaus Chancen für neue Vermarktungsformen bedeuten.

Die Lieferbeziehungen zwischen Landwirten und Molkereien werden aufgrund dieser Entwicklungen in Zukunft jedoch wahrscheinlich individueller, spezialisierter und überregionaler; Strukturwandel konnte in der Vergangenheit nicht aufgehalten werden und wird für Landwirte und Molkereien auch in Zukunft weitergehen. Dabei wird die vertikale Integration und Diversifikation von Wertschöpfungsketten an Bedeutung gewinnen. Vertikale Integration von Milchviehbetrieben, auch in Form von höherem Fremdkapitalanteil, mag zwar einerseits einen teilweisen Verlust unternehmerischer Eigenständigkeit bedeuten, könnte aber aus ökonomischer Sicht für manche Betriebe eventuell auch eine Chance zur Fortführung der Produktion bieten, z.B. in Verbindung mit innovativen Lösungen aus dem Bereich des sozial verantwortlichen bzw. nachhaltigen Investments.

Vor diesem Hintergrund wird es für einige Milcherzeuger auch in Zukunft notwendig sein, zusätzliche Einkommensmöglichkeiten zu erschließen. Im Zusammenhang mit einer Einkommensdiversifizierung durch die Erzeugung öffentlicher Güter zeigen staatliche Programme bisher jedoch eine Tendenz zu Kurzfristigkeit und bürokratischer Implementierung.

Die Agrarpolitik der Zukunft sollte daher von pauschalen Mengensteuerungsversuchen absehen und stattdessen unternehmerische Initiativen entlang der Wertschöpfungskette fördern. Langfristig kann die Qualität deutscher Milch und Molkereiprodukte dabei zu einem Alleinstellungsmerkmal auf inländischen wie globalen Märkten werden. Staatliche Einrichtungen können diesen Prozess z.B. durch das Einführen sinnvoller Qualitätskriterien und transparenter Verbraucher-informationen unterstützen. Während die vergangenen drei Jahrzehnte durch eine Reduktion der Produktionsmenge geprägt waren, sollte die Zukunft darauf gerichtet sein, Milch „vom Gras zum Glas“ besser zu machen.

Vieles deutet in diesem Zusammenhang darauf hin, dass staatliche und private Beratungsangebote für die betriebsindividuelle Entwicklung einer Zukunftsstrategie und für das einzelbetriebliche Risikomanagement noch nicht ausreichen, um das Gros der Betriebe wirkungsvoll unterstützen zu können.

Milchproduzenten stehen daher vor der Herausforderung, den Umgang mit Risiken stärker in ihrem Management berücksichtigen und Möglichkeiten finden zu müssen, wie betriebsindividuell eine höhere Wertschöpfung erzielt werden

kann. Die Abschaffung der Milchquote setzt innerbetrieblich Ressourcen frei, welche für diese Herausforderungen dringend benötigt werden.

Literatur

Comtrade, U.N. (2016). United Nations Statistics Division. Commodity Trade Statistics Database. http://comtrade.un.org/

EU Kommission (2016). European Milk Market Observatory. EU Historical Prices. http://ec.europa.eu/agriculture/milk-market-observatory/index_en.htm

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2016). Ergebnisse der Vollkostenauswertung der Rinderspezialberatungsringe in Schleswig-Holstein, verschiedene Jahre. http://www.lksh.de/landwirtschaft/tier/rinder/

Milchindustrie-Verband (2015). Beilage zum Geschäftsbericht 2014/2015. Zahlen – Daten – Fakten. www.milchindustrie.de/fileadmin/Dokumente/Verband/ZahlenDatenFakten_2015.pdf

OECD (2016). Producer Single Commodity Transfer Database. http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryId=66832&vh=0000&vf=0&l&il=&lang=en

Rexforth, J. (2016). Risikomanagement auf Milchviehbetrieben. Unveröffentlichte Masterarbeit Abteilung Ökonomie der Milch- und Ernährungswirtschaft, Christian-Albrechts-Universität Kiel.

Zuckerrübenanbau nach der Quote: Wie sollen Vertragsbeziehungen zwischen Anbauern und der Nordzucker AG zukünftig gestaltet werden?

Gunnar Breustedt und Arne Stoewenau

Institut für Agrarökonomie

Nach Jahrzehnten gilt die Quotenregelung in der europäischen Zuckermarktordnung ab der Kampagne 2017 nicht mehr. Die Anbauerverbände und Nordzucker verhandeln daher zur Zeit über neue Rübenlieferverträge. Um herauszufinden, welche Regelungen den Rübenlandwirten besonders wichtig sind, wurden von der Universität Kiel in Zusammenarbeit mit dem Zuckerrübenanbauerverband Niedersachsen-Mitte e.V. Rübenanbauer in Niedersachsen befragt. Der Beitrag gliedert sich einen Abschnitt über die Befragung, die Methode sowie die Ergebnisse, eine kurze Diskussion und eine Zusammenfassung.

Befragung

Im späten Frühjahr 2015 nahmen 213 Landwirte mit Rübenanbau an der Online-Befragung teil. Die Betriebe lagen zumeist zwischen Bremen, Braunschweig und Harz, mit einem Schwerpunkt in den Kreisen Hildesheim, Salzgitter, Hannover, Wolfenbüttel, Goslar und Peine. Nachfolgend eine Übersicht über einige Eigenschaften der Befragten.

Eigenschaft	**Durchschnitt der Befragten**
Ackerfläche	140 ha
Rübenfläche	25 ha
Fruchtfolgeanteil	22%
Rübenertrag	73 t/ha
Zuckergehalt	17,9%
Anteil Quotenrüben	89%
Fabrikentfernung	25 km
Alter	48 Jahre
Hochschulabschluss	32% der Befragten
Meister, Agrarbetriebswirt	47% der Befragten

Ferner wurden die Landwirte gebeten, zwischen verschiedenen hypothetischen Verträgen zu wählen. Die Verträge unterschieden sich im Rübenbasispreis, in den Kriterien für die Preisberechnung, in den Konsequenzen bei Nichterfüllung der Vertragsmenge, in der Laufzeit und in der Aufteilung der Frachtkosten für Rüben über den Lieferrechtsanspruch hinaus vom Feld bis zum Bezugspunkt. Diese Vertragsattribute und ihre unterschiedlichen Ausprägungen werden in der folgenden Tabelle erläutert.

Vertragsattribute	**Erläuterung und Ausprägungen der Attribute**
Vertragspreissystematik	Es gibt • einen festen Basispreis über die Vertragslaufzeit, oder • Landwirte werden an hohen Zuckererlösen für Nordzucker beteiligt, oder • der Basispreis schwankt mit dem Rapspreis (Basis 350 Euro/t).
Basispreis (16% ZG)	Der Rübenbasispreis ist über die Vertragslaufzeit garantiert, bezieht sich auf einen Zuckergehalt von 16% und Nebenleistungen kommen hinzu. Er wird variiert von 20 über 23 bis 26 €/t.
Nichterfüllung der Vertragsmenge	Bei Nichterfüllung der Vertragsmenge • muss der Landwirt eine Strafe zahlen oder • kann der Landwirt die Rüben im Folgejahr nachliefern oder • es gibt keine Konsequenzen.
Vertragslaufzeit	1, 2 oder 4 Jahre
Frachtkostenbeteiligung	Für Rüben über den Lieferrechtsanspruch hinaus werden die Frachtkosten vom Feld bis zum Bezugspunkt zu 100%, zu 50% oder gar nicht vom Landwirt übernommen.

Die Vertragsattribute wurden dann zufällig zu Vertragsvarianten kombiniert, die wiederum zufällig zu 32 sog. Auswahlsets zusammengestellt werden. Je Set konnte der Landwirt eine der Vertragsvarianten A, B oder C auswählen oder alle Vertragsangebote ablehnen. Diese Form der Befragung mittels Auswahlsets ist ein sog. Discrete Choice Experiment, entsprechend wird auch von der Discrete Choice Methode (DCM) gesprochen. Jedem Landwirt wurden in der Befragung acht Auswahlsets wie z.B. das folgende vorgelegt.

Variante / Eigenschaften	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
Vertragspreissystematik:	Basispreis	Basispreis+Erlösbeteiligung	Variabler Preis, an den Rapspreis gekoppelt	Kein Rübenanbau
Basispreis (16% ZG):	20 €/t	23 €/t	26 €/t	
Konsequenz bei Nichterfüllung der Vertragsmenge:	Keine	Übertrag	Vertragsstrafe je nicht gelieferter t Rüben	
Vertragslaufzeit:	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	
Frachtkostenbeteiligung für freie Mengen durch den Anbauer bis zum Bezugspunkt:	Keine Frachtbeteiligung	50 % der Frachtkosten	100 % der Frachtkosten	

Methode

Wir beschreiben die DCM hier bezogen auf unsere Landwirte-Befragung über Rübenlieferverträge. Es wird davon ausgegangen, dass ein Landwirt *j* die Alternative wählt, die ihm von allen *K* möglichen Alternativen / Varianten den höchsten Nutzen *U* stiftet. Die Alternativen bei uns sind drei verschiedene Lieferverträge sowie der Verzicht auf Rübenanbau unter Liefervertrag. Der Nutzen kann statistisch in einen deterministischen Teil *V* und einen stochastischen Teil ε, der die nicht beobachteten Variablen und Messfehler abbildet, aufgeteilt werden. Dabei ist der deterministische Nutzen eine linear additive Funktion der Eigenschaften z_k der gewählten Variante *k* aus Sicht des Landwirts und den persönlichen Charakteristika s_j des Landwirts *j* (BEN-AKIVA und LERMAN, 1994: 48, 99).

(1) $$U_{jk} = V(z_{jk}, s_j) + \varepsilon_{jk} = \alpha\, z_{jk} + \gamma\, s_j + \varepsilon_{jk} = \beta x_{jk} + \varepsilon_{jk}$$ mit

U_{jk} = Nutzen der Alternative *k* für Landwirt *j*,

α = 1×*Z*-Vektor, der den marginalen Einfluss der Eigenschaften z_{jk} der Alternative *k* und

γ = 1×*S*-Vektor, der den Einfluss der persönlichen Charakteristika s_j auf die Nutzenbewertung angibt.

β = 1×(*Z*+*S*)-Vektor der zu schätzenden Parameter

x_{jk} = (*Z*+*S*) ×1-Vektor der exogenen Variablen z_{jk} und s_j.

Zudem ist der Nutzen nicht beobachtbar, sondern nur die Entscheidung, welche Variante gewählt wurde. Daher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Entscheider *j* eine Alternative $n \neq k$ aus seinem Auswahl-Set Ω_j wählt, gleich der Wahrscheinlichkeit, dass diese Variante einen höheren Nutzen als alle anderen Alternativen in dem Auswahl-Set $\Omega_j = \{k \mid k = 1, 2, ..., K\}$ stiftet (BEN-AKIVA und LERMAN, 1994). In unserem Fall bezeichnet $k = 1, 2, 3$ die Vertragsvarianten und $k = 4$ die Variante des Nichtanbaus von Rüben ($K = 4$). Wenn für jede Alternative aus dem Auswahl-Set eine binäre Variable *y* eingeführt wird, die genau 1 annimmt, wenn Landwirt *j* Variante *n* wählt, und sonst 0, dann kann die Wahrscheinlichkeit der Vertragswahl folgendermaßen formuliert werden:

(2) $$P_{jn} = prob(V_{jn} + \varepsilon_{jn} > V_{jk} + \varepsilon_{jk}; \forall k \in \Omega_j; n \neq k) = prob(y_n = 1) = F_n(x_{ji}, \beta)$$ mit

P_{jn} = Wahrscheinlichkeit, dass Landwirt *j* Alternative *n* auswählt,

x_{ji} sind alle x_{jk} eines Landwirts *j*.

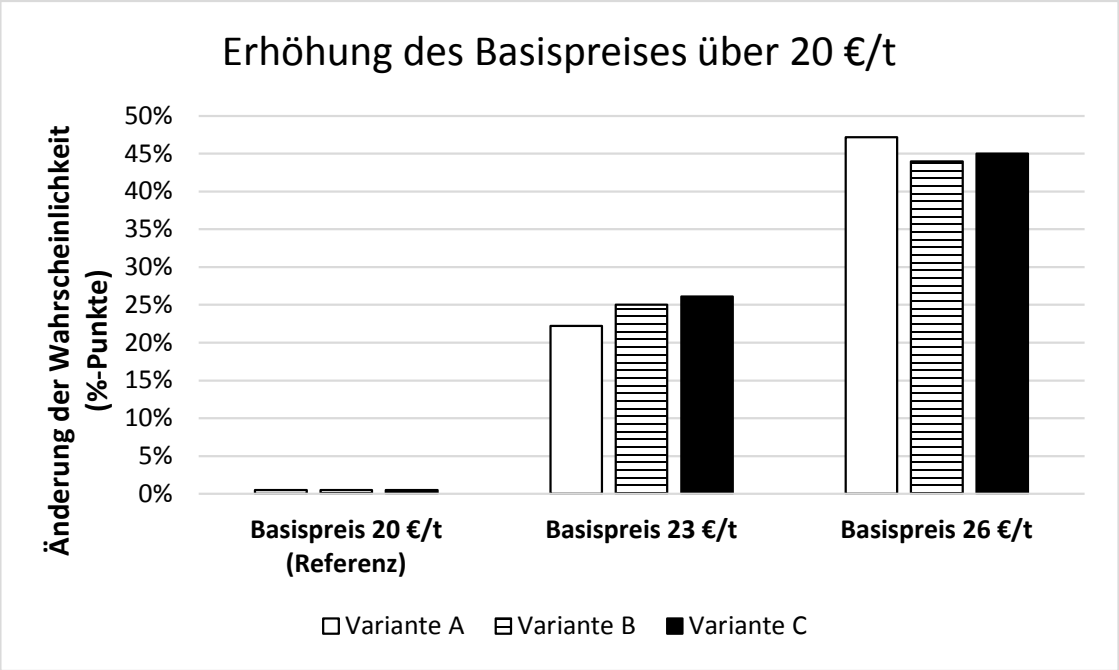
Die Funktion F_n darf nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Hierfür wählen wir die logistische Funktion, wie sie auch von Modellen mit einer binären endogenen Variablen bekannt ist. Allerdings ist in unserem Fall von vier Wahlmöglichkeiten für die endogene Variable ein multinomiales Logit zu schätzen, genauer gesagt schätzen wir ein konditionales Logit, in dem auch die persönlichen Charakteristika mitgeschätzt werden, die zwischen den Wahlalternativen gleich sind. Die Schätzung wurde mit der Software Stata 13.2 durchgeführt.
Um die Bedeutung der einzelnen Variablen auf die Wahlwahrscheinlichkeit eines Vertrages abzuschätzen, müssen die marginalen Effekte der (exogenen) Variablen berechnet werden. Da eine logistische Schätzung nichtlinear ist, sind dafür zusätzliche Berechnungen notwendig, die die Software übernimmt. Die marginalen Effekte geben dann an, um wieviel Prozentpunkte sich die Wahlwahrscheinlichkeit für einen Vertrag erhöht, wenn sich die (exogene) Variable um eine Einheit erhöht. Ein solcher marginaler Effekt für eine monetäre Variable wie den Rübenbasispreis kann dann genutzt werden, um die marginalen Effekte der übrigen Variablen in Geldeinheiten umzurechnen und so anschaulich vergleichbar zu machen. Dann kann man z.B. sagen, dass ein Liefervertrag mit Vertragsstrafe die selbe Wertigkeit (= Wahlwahrscheinlichkeit) für den durchschnittlichen Landwirt hat wie ein Vertrag ohne Vertragsstrafe aber mit 0,90 €/t niedrigerem Rübenbasispreis.

Ergebnisse

Folgende Ergebnisse wurden festgestellt. Zunächst ist festzuhalten, dass in 24% der vorgelegten Auswahlsets kein Vertrag gewählt wurde. Ein Rübenbasispreis von 20 €/t (bei 16% Zuckergehalt) ist also keine Garantie dafür, dass die Landwirte einen Liefervertrag wählen. Man kann sogar noch weiter gehen: In den vier Auswahlsets, in denen sich die Landwirte am häufigsten gegen einen Liefervertrag entschieden haben, wurde auch ein Vertragsangebot über 23 €/t Basispreis in 40% der Fälle abgelehnt. Die Raps- und Weizenpreise während der Befragung betrugen ca. 345 €/t bzw. ca. 160 €/t ab Hof.
Die Schätzung des konditionalen Logit-Modells basiert auf 1551 Choice Sets und ist hochsignifikant, der Log-Likelihood-Wert beträgt – 1699,96.

Variable		Koeffizient	Standard-fehler	z-Wert	Irrtumswahr-scheinlichkeit
Basispreis plus Erlöszuschlag		0,711	0,106	6,710	0,000
Basispreis schwankt mit Rapspreis		0,019	0,088	0,210	0,834
Basispreis 23 €/t		1,163	0,122	9,530	0,000
Basispreis 26 €/t		2,329	0,112	20,740	0,000
Nachlieferung nichterfüllter Menge		0,324	0,058	5,560	0,000
Vertragsstrafe bei Nichterfüllung		-0,393	0,056	-7,040	0,000
Laufzeit 2 Jahre		0,162	0,110	1,480	0,138
Laufzeit 4 Jahre		0,067	0,089	0,750	0,453
Frachtkosten 50%		-0,317	0,100	-3,180	0,001
Frachtkosten 100%		-0,757	0,100	-7,600	0,000

Es kommt in der statistischen Auswertung klar heraus, dass die Wahrscheinlichkeit, einen Liefervertrag zu wählen, mit höherem Rübenbasispreis steigt.



Die obige Grafik zeigt, dass ein Anstieg des Basispreises um 3 €/t die Wahlwahrscheinlichkeit für alle Vertragsvarianten um 20-25%-Punkte erhöht. Es ist uns aber nur möglich, die Veränderung der Wahrscheinlichkeit bei höherem Basispreis auszurechnen, es ist hingegen nicht möglich, eine Gesamtwahrscheinlichkeit für den Abschluss eines Vertrages mit 20 €/t Basispreis für die Realität zu bestimmen.

Wenn man den Einfluss des Preises auf die Entscheidung der Landwirte für einen Liefervertrag kennt, kann man den Einfluss der anderen Vertragsattribute anschaulich in Geld ausdrücken. Man weiß dann, wieviel €/t des Basispreises die anderen Attribute aus Sicht des durchschnittlichen Landwirtes wert sind.

Folgende Tabelle zeigt diese Ergebnisse: Ein positiver Wert zeigt an, dass der Landwirt das Vertragsattribut positiv bewertet. Den Erlöszuschlag beispielsweise finden die Landwirte so positiv, dass sie im Durchschnitt bereit sind, dafür auf 1,75 €/t Basispreis zu verzichten. Andersherum wirkt das Risiko einer Vertragsstrafe so negativ wie ein um 0,90 €/t verringerter Basispreis. Wichtig erscheint nach der Befragung, dass die Landwirte die Möglichkeit des Nachlieferns nicht erfüllter Menge im Folgejahr signifikant besser bewerten als eine folgenlose Nichterfüllung. Die Landwirte bewerten das so hoch wie 0,75 €/t mehr Basispreis. Flexibilität bei der Vertragsmengenerfüllung ist den Landwirten also etwas wert.

Vertragsattribut	**Durchschnittlicher Zusatzwert (€/t)**
Erlöszuschlag	+ 1,75 €/t
Basispreis nach Rapspreis	nicht signifikant
Nachlieferung nicht erfüllter Menge im Folgejahr	+ 0,75 €/t
Vertragsstrafe	- 0,90 €/t
Laufzeit 4 Jahre (statt 1 Jahr)	nicht signifikant
Laufzeit 2 Jahre (statt 1 Jahr)	nicht signifikant, leicht positive Tendenz
Frachtkosten 50% für den Landwirt	- 0,70 €/t
Frachtkosten 100% für den Landwirt	- 1,70 €/t

Festzuhalten ist, dass die Vertragslaufzeit nicht signifikant wirkt, der zweijährige Vertrag hat zwar eine leicht positive, aber nicht signifikante Tendenz. Eine Orientierung des Rübenbasispreises am Rapspreis wird von den Landwirten im Durchschnitt weder positiv noch negativ bewertet. Es ist daher zu vermuten, dass einige Landwirte diese Art der Preisgestaltung begrüßen. Als zusätzliche Vertragsvariante erscheint sie daher erwägenswert. Ferner erscheint es ratsam, Strafen im Vertrag bei niedrigen Erträgen so gut es geht zu vermeiden. Die Möglichkeit des Nachlieferns im Folgejahr oder ein Ausgleich zwischen unter- und überliefernden Landwirten erscheint wesentlich geschickter. Eine Übernahme der Frachtkosten bis zum Bezugspunkt der Transportkostenregelung für Mengen über das Lieferrecht eines Landwirtes hinaus wird erwartungsgemäß negativ bewertet. Eine vollständige Übernahme wird ungefähr doppelt so negativ eingeschätzt wie eine hälftige Übernahme der Kosten.

Diskussion

Kritisch anzumerken ist, dass die Befragung nicht mit zu viel Details überfrachtet werden konnte. Daher fehlen wichtige Details bei der Bestimmung des Erlöszuschlages oder der Vertragsstrafe. Man wird allerdings gerade beim Erlöszuschlag unterstellen können, dass die Landwirte von einem Erlöszuschlag ausgegangen sind, so wie sie ihn bisher kannten. Würde der Anteil an hohen Zuckererlösen für die Landwirte also niedriger als bisher ausfallen, würde auch die Möglichkeit eines Erlöszuschlages nicht mehr so positiv bewertet werden wie hier in der Befragung.

Ferner konnte nicht berücksichtigt werden, für wieviel Menge die Landwirte Lieferverträge abschließen würden. Bei Betrieben mit hohem Rübenflächenanteil ist also zu vermuten, dass sie bei weniger attraktiven Konditionen nur für

relativ wenig Menge einen Vertrag abschließen. Umgekehrt kann mit der Befragung auch nicht aufgezeigt werden, dass manche Betriebe für viel Menge Verträge abschließen würden.

Zusammenfassung

In erster Linie bestimmt die Höhe des erwarteten Rübenpreises, ob Landwirte Rübenlieferverträge abschließen werden. Deutlich untergeordnet, aber nicht zu unterschätzen sind die Aspekte einer Erlösbeteiligung und der Umgang mit nichterfüllten Vertragsmengen. In dieser Befragung hat sich gezeigt, dass die Landwirte den Anbau von Zuckerrüben genauso wie z.B. den Anbau von Biogasmais, Braugerste oder Raps stark nach der Rentabilität entscheiden.

Literatur

BEN-AKIVA, M., S. R. LERMAN (1994): Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. MIT Press Series in Transportation Studies, 6. Auflage, MIT Press, Cambridge.

Regionale Kooperation bei staatlicher Lagerhaltung zur Ernährungssicherung in West-Afrika

Lukas Kornher

Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre

Einleitung

Im Anschluss an die globalen Nahrungsmittelkrisen 2007/2008 und 2011 rückte die Möglichkeit regionaler Kooperationen bei staatlicher Lagerhaltung und die dazugehörigen Notfallreserven in den wissenschaftlichen und politischen Fokus (Wright und Cafiero, 2011). Regionale Kooperationen stellen dabei eine vergleichsweise günstige Alternative zu nationalen Preisstabilisierungsprogrammen dar. Eine internationale oder regionale Reserve fungiert in diesem Fall wie eine Versicherung basierend auf dem Prinzip der Risikoteilung der Versicherungsnehmer (Johnson, 1976).

In dieser Arbeit wird, unter Berücksichtigung zusätzlicher, durch Kooperation entstehender, Kosten und möglicher „Spill-over-Effekte“, ein theoretischer Rahmen zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit einer gemeinsamen regionalen Lagerhaltung entwickelt. Gestützt auf diesen theoretischen Rahmen wird analysiert und diskutiert inwieweit eine regionale Kooperation bei der Getreidelagerhaltung im geographischen Westafrika für die Region als Ganzes erstrebenswert wäre. Zudem lässt sich beurteilen welche Staaten Gewinner und Verlierer einer gemeinsamen Lagerhaltungsstrategie wären. Westafrika wurde als Region ausgewählt, da dort eine solche gemeinsame Lagerhaltung im Rahmen der RESOGEST Initiative geprüft und unter Mithilfe der G20 geplant wird.

Theoretischer Rahmen

Um Kosten und Nutzen einer regionalen Lagerhaltungsstrategie zu bestimmen, müssen die Wohlfahrtseffekte der öffentlichen Lagerhaltung spezifiziert werden. Basierend auf der Literatur zur optimalen Lagerhaltung (Newbery und Stiglitz, 1982; Wright und Williams, 1982) kann angenommen werden, dass die Preisvariabilität mit höherer Lagerquote, welche das Verhältnis der zu Jahresbeginn gelagerten Menge Getreide zum erwarteten Verbrauch angibt, zurückgeht. Allerdings steigen im gleichen Maße bei höherer Lagerquote auch die Staatsausgaben. Folglich existiert ein Zielkonflikt zwischen Nutzen und Kosten einer erhöhten staatlichen Lagerquote.

Im Rahmen einer regionalen Lagerhaltungsstrategie ist die Lagerquote durch die teilnehmenden Staaten nicht selbst zu bestimmen, sondern die gemeinsame Entscheidung aller teilnehmenden Staaten. In diesem Fall überstimmt die supranationale Aufsichtsbehörde die nationalen Regierungen (vgl. Theorie zu Internationalen Vereinigungen von Alesina u.a., 2005). Eine regionale Lagerhaltungsstrategie ist dann sinnvoll, wenn die Angebotsschocks der kooperierenden Nachbarländer ausreichend unkorreliert oder gar unabhängig sind (Koester, 1986). In diesem Fall kann die regionale Lagerquote, bei gleicher Preisstabilität, geringer als die Lagerquote ohne Kooperation sein. Des Weiteren müssen im Rahmen der regionalen Lagerhaltungsstrategie zusätzliche, aus der Koordination entstehende, Kosten berücksichtigt werden. Daraus erschließt sich, dass bei gleichbleibender Preisstabilität (Vergleich mit und ohne Kooperation) Netto-Wohlfahrtsgewinne entstehen sobald die eingesparten Lagerkosten die Kosten der Koordination überschreiten. Zu berücksichtigen ist dabei wie die Gesamtkosten einer regionalen Nahrungsmittelreserve auf die teilnehmenden Staaten verteilt werden. Zum Einen könnten Staaten in gleichem Maße, das heißt mit identischer Lagerquote, zur Reserve beitragen. Andererseits wäre es auch denkbar, dass Staaten mit größerem Bedarf nach Ausschüttungen der Reserve, verursacht durch eine höhere Variabilität des Angebots, in größerem Maße beteiligt werden.
In einer Erweiterung des Grundmodells werden zudem „Spill-over-Effekte“ einer regionalen Preisstabilisierung berücksichtigt. Dabei wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die nationalen Nahrungsmittelmärkte in der Region untereinander integriert sind und Preisschocks sich über Grenzen hinweg übertragen. In Konsequenz profitieren an der Kooperation teilnehmende Staaten von der Preisstabilisierung im Nachbarland, die eine Destabilisierung der einheimischen Preise durch Transmissionseffekte aus den Nachbarländern verhindert.

Methodik und Ergebnisse

Um den Nutzen einer regionalen Lagerhaltungsstrategie zu ermitteln, werden zwei unterschiedliche Methoden angewendet. Zum einen wird die optimale Lagermenge einer stilisierten Notfallreserve mit gegebenem Stabilisierungsziel für jeden Staat einzeln und für die Region als ganzes berechnet. Zum anderen werden „Spill-over-Effekte“ einer regionalen Preisstabilisierung mit Hilfe eines Strukturellen Vektorautoregressionsmodells und der dazugehörigen Varianzdekomposition des Prognosefehlers für jedes Land geschätzt.

Nationale und regionale Notfallreserve

Eine Notfallreserve muss durch Verteilung der Vorräte das Gesamtangebot an Getreide im Markt erhöhen, um die Preise zu stabilisieren und Nahrungsmittel-

krisen verhindern zu können. Deshalb ist die optimale staatliche Lagermenge so zu wählen, dass in jedem Jahr ein bestimmtes Mindestniveau an Nahrungsmitteln im Markt vorhanden ist (vgl. Konandreas u.a., 1978). Dabei operiert die Notfallreserve als eine Art Versicherung, die bei zu niedrigem Nahrungsmittelangebot den Markt mit zusätzlichem Getreide versorgt und dadurch die Ungleichheit zwischen Angebot und Nachfrage ausgleicht.
Die regionale Notfallreserve muss die nationalen Angebotsschocks in gleichem Maße ausgleichen können wie die nationalen Reserven. Das bedeutet die optimale Lagermenge der regionalen Reserve ist so zu wählen, dass die Summe aller Angebotsschocks der teilnehmenden Staaten in jedem Jahr von der Notfallreserve ausgeglichen werden kann. Falls die Angebotsschocks der teilnehmenden Staaten perfekt korreliert sind, entspricht die optimale Lagermenge der regionalen Reserve der Summe der Lagermengen der nationalen Notfallreserven. Je schwächer die Korrelation der Angebotsschocks, desto geringer wird die Lagermenge der gemeinsamen Notfallreserve.
Beispielhaft können die optimalen Lagermengen mit und ohne Kooperation für unterschiedliche Stabilisierungsziele berechnet werden. Zur Berechnung der optimalen Lagermengen wird die Verteilung des Angebots aus den historischen Angebotsschocks, basierend auf Daten des amerikanischen Landwirtschaftsministeriums (USDA), der letzten 35 Jahre berechnet. Die optimalen Lagermengen für die nationalen Notfallreserven ergeben sich dabei aus der Differenz des Stabilisierungsziels (z.B. 95% des mittleren Angebots) und eines Quantils (z.B. 5%), das zu große Schocks unberücksichtigt lässt. Die resultierenden Lagerhaltungskosten berechnen sich aus den optimalen Lagermengen multipliziert mit geschätzten Lagerhaltungskosten von 35 USD pro Tonne und Jahr und sind in Tabelle 1 dargestellt (Spalte 2).

Tabelle 1: Lagerhaltungskosten der Reserve mit und ohne regionaler Kooperation

In Mil. USD	Ohne Kooperation	Mit Kooperation		
		Identische Lagerquote	Bedürfnisabhängige Lagerquote	Koordinationskosten
Mali	20.35	7.53	10.11	4.51
Burkina Faso	19.85	7.19	9.81	5.33
Sierra Leone	5.32	1.51	2.66	1.52
Liberia	3.57	0.71	1.77	1.11
Guinea-Bissau	1.27	0.42	0.63	0.33
Ghana	17.94	5.25	8.95	5.11
Togo	4.33	1.87	2.14	1.1
Senegal	8.92	4.09	4.42	2.46
Benin	5.37	2.6	2.66	1.39
Niger	28.05	6.87	13.99	9.95
Gambia	2.18	0.46	1.07	0.74
Mauretanien	2.92	0.98	1.45	1.00
Guinea	4.08	3.78	2.07	0.65
Elfenbeinküste	4.29	3.75	2.15	0.64
Nigeria	41.03	39.51	20.64	7.56
Kamerun	7.78	5.63	3.87	2.43
Kapv. Inseln	0.49	0.04	0.24	0.31
Tschad	12.70	2.77	6.34	7.66
Region	190.44	94.96	94.96	53.77

Anmerkung: Koordinationskosten berechnen sich aus dem durchschnittlichen jährlichen Bedarf eines Landes an Ausschüttungen der Reserve multipliziert mit den Transportkosten, die wir pragmatisch als die Median Grenzdistanz der einzelnen Länder zu allen anderen Ländern der Region multipliziert mit den Transportkosten pro Tonne und Kilometer (5 USD) approximieren.

Die optimale Lagermenge der regionalen Notfallreserve berechnet sich aus der geschätzten Verteilung der Summe der Angebotsschocks aller teilnehmenden Länder in einem Jahr. Bei Vernachlässigung der 5% größten Schocks ergibt sich beim Stabilitätsziel 95% (des Angebots) eine optimale Lagermenge von 2.699.771 Tonnen, welche etwa halb so groß wie die gesamte regionale Lagermenge ohne Kooperation ist. Die Gesamtlagermenge von 2.7 Millionen Tonnen kann sowohl durch eine länderübergreifend identische oder eine länderübergreifend variierende (bedürfnisabhängige) Lagerquote erreicht werden. Tabelle 1 (Spalte 3 & 4) zeigen die sich ergebenden Lagerhaltungskosten für beide Verteilungsschlüssel.

Es zeigt sich, dass die Lagermengen und damit die Lagerhaltungskosten für alle Länder unabhängig vom Verteilungsschlüssel sinken. Allerdings hängt die Größenordnung der Einsparungen für die einzelnen Länder stark davon ab, welche Regelung bezüglich der Lagerquote getroffen wird. So profitieren Länder mit

relativ stabilem Getreideangebot bei einer bedürfnisabhängigen Lagerquote deutliche stärker als bei einer identischen Lagerquote.
Bei realistischen Lagerhaltungskosten von 35 USD pro Tonne und Jahr und unter Berücksichtigung zusätzlicher Kosten (Tabelle 1 Spalte 5), die aus der Notwendigkeit der Koordination entstehen, entsprechen die geringeren Lagermengen finanziellen Einsparungen von jährlich 42,4 Millionen USD. Diese zusätzlichen Kosten führen dazu, dass einige Länder im Falle der Kooperation Netto-Wohlfahrtsverluste aufweisen würden. Für Länder mit relativ geringer Angebotsinstabilität, wie Nigeria, Elfenbeinküste, Guinea und Kamerun, ist dies der Fall bei einer länderübergreifend identischen Lagerquote (Kosten Spalte 2+4> Kosten Spalte 1). Im Gegensatz dazu, verlieren der Tschad und die Kapverdischen Inseln auf Grund der großen Schwankungen ihres Angebots im Falle einer bedürfnisabhängigen Lagerquote (Kosten Spalte 3+4> Kosten Spalte 1).

Spill-over-Effekte der regionalen Lagerhaltungsstrategie
„Spill-over-Effekte“ einer regionalen Preisstabilisierung werden mit Hilfe eines strukturellen Vektorautoregressionsmodells und der dazugehörigen Varianzdekomposition des Prognosefehlers geschätzt. Dies ist eine gängige Methode, um die Symmetrie makroökonomischer Schocks zwischen einzelnen Ländern zu analysieren und die Vorteilhaftigkeit einer gemeinsamen Währungspolitik zu bewerten (z.B. Chow und Kim, 2003). Dabei wird die Veränderung des Nahrungsmittelpreises durch die Veränderung struktureller Variablen auf nationaler (Food Price Index, Consumer Price Index, USD Wechselkurs), regionaler (regionaler Food Price Index) und internationaler Ebene (internationaler Food Price Index, internationaler Ölpreis) erklärt. Mit der Durchführung einer Varianzdekomposition des Prognosefehlers des Regressionsmodells lässt sich der prozentuale Anteil der einzelnen Ebenen bestimmen und eine Aussage treffen, welche Ebene am stärksten zur Instabilität der Nahrungsmittelpreise beiträgt. Falls ein signifikanter Anteil der Variation der Nahrungsmittelpreise durch regionale Schocks entsteht, hat eine regionale Preisstabilisierung das Potenzial die nationalen Märkte zu stabilisieren.

Die Analyse zeigt, dass Nahrungsmittelpreise auf den Kapverdischen Inseln, im Tschad, in Guinea-Bissau und Mali am stärksten auf Veränderungen des regionalen Nahrungsmittelindexes reagieren – um präzise zu sein: mehr als 10 % der Varianz des Prognosefehlers wird durch den regionalen Nahrungsmittelindex erklärt. Das bedeutet, dass diese Länder auch am stärksten von einer Preisstabilisierung in der Region profitieren würden. Dagegen weisen Nigeria, Kamerun, Guinea und die Elfenbeinküste, neben der geringsten Variabilität der Angebotsschocks, auch die höchste Unabhängigkeit der Nahrungsmittelpreise

auf. Das bedeutet, für diese Länder werden die geringsten Vorteile einer regionalen Preisstabilisierung konstatiert.

Zusammenfassung und Diskussion

In dieser Studie wird ein theoretischer Rahmen entwickelt, der es ermöglicht die Vor- und Nachteile einer regionalen Lagerhaltungsstrategie für die kooperierenden Länder zu ermitteln. Aus ökonomischer Sicht besteht ein Zielkonflikt zwischen verringerter Preisinstabilität durch eine höhere Lagerquote und den durch die Intervention entstehenden Staatsausgaben. Durch regionale Lagerhaltung können die Ausgaben reduziert werden, wenn Risiken der Länder ausreichend gepoolt werden können. Gleichzeitig werden die regionale Lagerquote und der Modus Operandi der regionalen Reserve von der Gemeinschaft bestimmt, mit geringer Aussicht darauf, dass die Lagerquote für jedes einzelne Land optimal gewählt wird. Zudem sind im Rahmen regionaler Lagerhaltung zusätzliche, sich aus der Koordination und des Transportes von Getreide zwischen den Ländern ergebende, Kosten sehr wahrscheinlich. Dadurch könnten teilnehmende Staaten trotz Einsparungen bei Lagerhaltungskosten im Falle von regionaler Kooperation zu Verlierern werden.

Tabelle 2: Gewinner und Verlierer einer regionalen Kooperation

	Bei Kooperation mit:			
	Identische Lagerquote	Bedürfnisabhängige Lagerquote	Spill-over Effekte	Gesamt
Mali	+++	+++	+++	+++
Burkina Faso	+++	+++	++	++(+)
Sierra Leone	+++	++	+	++
Liberia	+++	++	n.v.	++(+)
Guinea-Bissau	+++	++	+++	++(+)
Ghana	++	++	++	++(+)
Togo	++	++	++	++
Senegal	++	++	++	++
Benin	++	++	+	++(+)
Niger	+++	++	+	++
Gambia	+++	++	+	++
Mauretanien	+++	++	++	++(+)
Guinea	-	++	+	(+)
Elfenbeinküste	-	+	+	(+)
Nigeria	-	+	+	(+)
Kamerun	-	+	o	o
Kapv. Inseln	+++	--	+++	+
Tschad	+++	--	+++	+

Anmerkung: + und - zeigen an wie stark einzelne Länder durch eine Kooperation bezüglich eingesparter Lagerhaltungskosten gewinnen und verlieren. Spill-over Effekte sind per Definition immer positiv und die Anzahl der + zeigt an wie groß der Nutzen ist, wobei o insignifikanter Nutzen bedeutet.

Für die westafrikanische Region würde eine regionale Lagerhaltungsstrategie, bei einem Stabilisierungsziel von 95% des Angebots, die regionale Lagerquote von 7,6% auf 3,8% reduzieren, was jährlich 2,7 Millionen Tonnen Getreide entspricht. Gemäß unseren Annahmen bezüglich Transport- und Lagerhaltungskosten, würde dies einer Einsparung in Höhe von 42,5 Millionen US Dollar jährlich entsprechen. Dabei profitieren Länder mit vergleichsweise hoher Variabilität der Angebotsschocks am stärksten bei einer identischen Lagerquote und verlieren bei einer am Bedarf ausgerichteten Beteiligung an der Reserve. Im Gegensatz dazu würden Länder mit vergleichsweise stabilem Getreideangebot ausschließlich gewinnen, falls sich die Verteilung der nationalen Beiträge zur Nahrungsmittelreserve an der Variabilität der Angebotsschocks orientiert, also bedürfnisabhängig ist.
Zudem zeigt sich, dass einige Länder in der Region stark von einer gemeinsamen Preisstabilisierung profitieren, da ihre Märkte vergleichsweise stärker unter regionaler Preisinstabilität leiden. Eine regionale Nahrungsmittelreserve würde die Preise aller Mitgliedsstaaten stabilisieren und verhindern, dass Preisspitzen über Grenzen hinweg auf andere Märkte übertragen werden können.
Tabelle 2 stellt die Resultate der einzelnen Komponenten der Studie in Form einer Synthesis dar. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Region als Ganzes enorm von einer regionalen Nahrungsmittelreserve profitieren würde. Allerdings sind die Netto-Wohlfahrtsgewinne der einzelnen Länder sehr unterschiedlich verteilt. Das bedeutet zukünftige Forschung sollte sich vor allem damit beschäftigen einen Weg zu ermitteln, bei dem alle kooperierenden Länder in gleichem Maße oder ausreichend stark von einer regionalen Lagerhaltungsstrategie profitieren.

Referenzen

Alesina, A., Angeloni, I., Etro, F., 2005. International unions. American Economic Review 95 (3), 602–615.

Chow, H. K., Kim, Y., 2003. A common currency peg in East Asia? Perspectives from Western Europe. Journal of Macroeconomics 25, 331–350.

Johnson, D., 1976. Increased stability of grain supplies in developing countries: Optimal carryovers and insurance. World Development 4 (12), 977 – 987.

Köster, U., 1986. Regional cooperation to improve food security in southern and eastern African countries. Research Report 53, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, D.C.

Konandreas, P., Huddleston, B., Ramangkura, V., 1978. Food security: An insurance approach. Research Report 4, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, D.C.

Newbery, D. M. G., Stiglitz, J. E., 1982. Optimal commodity stock-piling rules. Oxford Economic Papers 34 (3), 403–427.
Williams, J. C., Wright, B. D., 1991. Storage and Commodity Markets, 1st Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
Wright, B. D., Cafiero, C., 2011. Grain reserves and food security in the Middle East and North Africa. Food Security 3 (1), 61–76.

Messung des Vermarktungserfolges bei Marktfruchtbaubetrieben: Wie groß sind die Unterschiede?

Jens-Peter Loy und Patrick Holzer

Abteilung Marktlehre, Institut für Agrarökonomie

Einleitung

Seit der Umsetzung der MacSharry Reform 1992 und insbesondere seit der Preiskrise auf den internationalen Rohstoffmärkten 2007 hat die Vermarktung von Getreide und Raps erheblich an Bedeutung für den landwirtschaftlichen Betriebserfolg gewonnen. In einigen wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Thema wird gezeigt, dass unter Verwendung öffentlich zugänglicher Informationen mit Hilfe von dynamischen stochastischen Optimierungsmodellen nur in geringem Maße eine systematische Steigerung der Gewinne durch die Anpassung der temporären Vermarktungsstrategie ermöglicht wird (vgl. Hanf und Loy 2005; Loy und Piniadz 2009; Loy et al. 2015). Die Ursachen dafür sind im Wesentlichen in der Nicht-Stationarität der Preise bzw. in ihrem „random walk“ ähnlichen Verhalten begründet. Demnach können Betriebe die durchaus bedeutenden temporären Preisunterschiede nicht systematisch nutzen und der betriebliche Vermarktungserfolg wird in erster Linie vom Zufall und nicht von den Management- oder Vermarktungsfähigkeiten der Entscheider bestimmt.

Diese Einschätzung wird in der Praxis nur bedingt geteilt und folglich soll in dieser Arbeit der Frage nachgegangen werden, ob es systematische Unterschiede im Vermarktungserfolg vergleichbarer landwirtschaftlicher Betriebe gibt, die darauf schließen lassen, dass die erfolgreichen Betriebsleiter entweder „private“ Marktinformationen besitzen und nutzen oder überlegene Heuristiken oder Modelle zur Bestimmung der Vermarktungsstrategie verwenden. In dem Beitrag werden dazu umfangreiche Buchführungsdaten eines Beratungsrings im norddeutschen Raum für einen Zeitraum von 2003 bis 2014 ausgewertet. Dabei wird zunächst diskutiert, welche Normen und statistischen Verfahren unter Berücksichtigung der Eigenschaften der zugrundeliegenden Preisdaten eine angemessene Prüfung systematischer Unterschiede in der Vermarktung erlauben. Anschließend werden die Daten beschrieben und die Ergebnisse der statistischen Tests vorgestellt. Am Ende werden die Ergebnisse zusammengefasst.

Benchmarking

In der betriebswirtschaftlichen Beratung werden verschiedene Maßzahlen zur Beurteilung des Vermarktungserfolges von landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Es werden zum Beispiel die Verkaufserlöse bei einzelnen Früchten den durchschnittlichen Erlösen anderer Betriebe aus den jeweiligen Wirtschaftsjahren gegenübergestellt. Dabei werden neben den Vergleichen für einzelne Jahre auch Vergleiche von drei- oder fünfjährigen Durchschnitten vorgenommen. Weiterhin werden die durchschnittlichen Verkaufserlöse eines Betriebs dem Mittel der Preise in der laufenden Saison gegenübergestellt. Die Benchmarks bilden somit die durchschnittlichen Vermarktungsmöglichkeiten in der Saison oder die Vermarktungsergebnisse der anderen Betriebe im Beratungsring. Andere Benchmarks sind vorstellbar, wie zum Beispiel die Zugehörigkeit zu den 25 Prozent erfolgreichen Betrieben (oberstes Quartil) oder ein Vergleich mit den bestmöglichen Vermarktungsperioden.[3] Die Wahl einer Benchmark und deren Interpretation erscheinen angesichts einer mangelnden theoretischen Vorstellung über eine optimale Vermarktungsstrategie willkürlich. Die Betrachtung mehrjähriger Durchschnitte berücksichtigt dabei ansatzweise den möglichen Einfluss von zufälligen Ereignissen. Diesem möglichen Einfluss des Zufalls auf die Ergebnisse des Benchmarking soll im Folgenden nachgegangen werden.[4] Wir verwenden dazu die oben beschriebenen Benchmarks. Um den möglichen Einfluss des Zufalls zu berücksichtigen, testen wir die individuellen Vermarktungsergebnisse gegenüber den Benchmarks. Außerdem testen wir Vermarktungsergebnisse zufällig agierender Agenten auf Basis realer und simulierter Preisnotierungen.[5] [6] Die Daten stellen in allen Fällen gepaarte Beobachtungen dar, für die bei normalverteilten Paardifferenzen ein t-Test oder ansonsten der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für Paardifferenzen angewendet werden kann

---

3 Bei diesen Vergleichen können Unterscheide in der Vorausvermarktung mit Hilfe von Warenterminmarkt- oder Forward-Kontrakten sowie die Qualitäten der geernteten Marktfrüchte die Vergleichbarkeit beeinträchtigen bzw. ungebührlich verfälschen.

4 Ein weiteres Problem beim Benchmarking ist die Vergleichbarkeit von Betrieben mit unterschiedlichen Merkmalen. So haben z.B. kleine Betriebe andere Voraussetzungen und Möglichkeiten der Kostenminimierung (oder Vermarktung) als große. Deshalb werden u.a. ökonometrische Verfahren eingesetzt, die simultan diese Einflussfaktoren als auch den zufälligen Einfluss modellieren, z.B. stochastische Frontiermodelle. Wir gehen hier zunächst von einer Vergleichbarkeit der Betriebe aus.

5 Hierfür simulieren wir Vermarktungsergebnisse auf Basis zufällig agierender Agenten.

6 Die Ergebnisse der Simulation der Weizenpreise beruhen auf einer Monte-Carlo-Simulation. Die notwendigen Parameter (μ und σ) für das Black-Scholes-Modell werden aus den vorliegenden Preisen geschätzt. Die Preisverläufe werden dann mit Hilfe der diskreten binomialen Approximation von Cox et al. (1979) modelliert und potentielle Verkaufszeitpunkte durch Zufallsgeneratoren ermittelt.

(Sachs 2002). Da es hier um die Bestimmung der erfolgreichen Vermarkter geht, wird ein einseitiger Test durchgeführt. Um die Robustheit der Testprozeduren zu überprüfen, werden sie zunächst auf simulierte autokorrelierte Preisnotierungen angewendet. Die Ergebnisse beim t-Test auf Paardifferenzen entsprechen unseren Erwartungen, wir finden jeweils ungefähr 5 % der Betriebe, die signifikant unter sowie über dem Durchschnitt liegen. Beim Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test dagegen finden wir keine Betriebe, die signifikant über oder unter dem Schnitt liegen. Für weiterführende Informationen zum Aufbau des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests siehe Hollander et al. (2013). Für die folgende Analyse wird deshalb der t-Test verwendet.

Daten und Ergebnisse

Ein Beratungsring in Norddeutschland hat für diese Untersuchung die Buchführungsergebnisse von 204 Ackerbaubetrieben über den Verkauf von Winterweizen und Raps über den Zeitraum von 2003 bis 2014 (t=12) zur Verfügung gestellt. Der mittlere Verkaufspreis über alle Betriebe und Jahre beträgt bei Weizen 154 Euro pro t. Die Mittelwerte über die Jahre schwanken zwischen den Betrieben von 132 bis 174 Euro pro t, d.h., der vermeintlich „beste“ Betrieb hat in diesem Zeitraum im Mittel mehr als 40 Euro pro t mehr erlöst als der „schlechteste“. Der Variationskoeffizient über die Mittelwerte liegt bei 4 Prozent. Um ein rein zufälliges Vermarktungsergebnis zu simulieren, wird aus den realen Preisnotierungen für Winterweizen in SH ein Preis in jeder Vermarkungsperiode zufällig ausgewählt. Diese Prozedur wird 204 Mal wiederholt. Im Mittel ergibt sich dabei ein Verkaufserlös bei Weizen von 161 Euro pro t. Die Mittelwerte zwischen den Zufallsakteuren liegen dabei maximal nur um 22 Euro pro t auseinander und das 80-Prozent-Konfidenzintervall reicht von 156 bis 165 Euro pro t. Der Variationskoeffizient liegt bei 2,2 Prozent. Die entsprechenden Werte für Raps sind ebenfalls Tabelle 1 zu entnehmen. Auffällig ist, dass der Unterschied zwischen den Betriebsergebnissen und bei zufälliger Vermarktung absolut und relativ sehr viel geringer ist als bei Weizen. Die Verteilung der Mittelwerte der Preise aus den Buchführungsergebnissen und die Simulation mit realen Preisnotierungen sind in Abbildung 1 dargestellt. Den Daten wird eine Normalverteilung gegenübergestellt. Die Normalverteilung wird für die Erlöse aus zufälliger Vermarktung nicht abgelehnt.

Tabelle 1: Beschreibende Statistiken

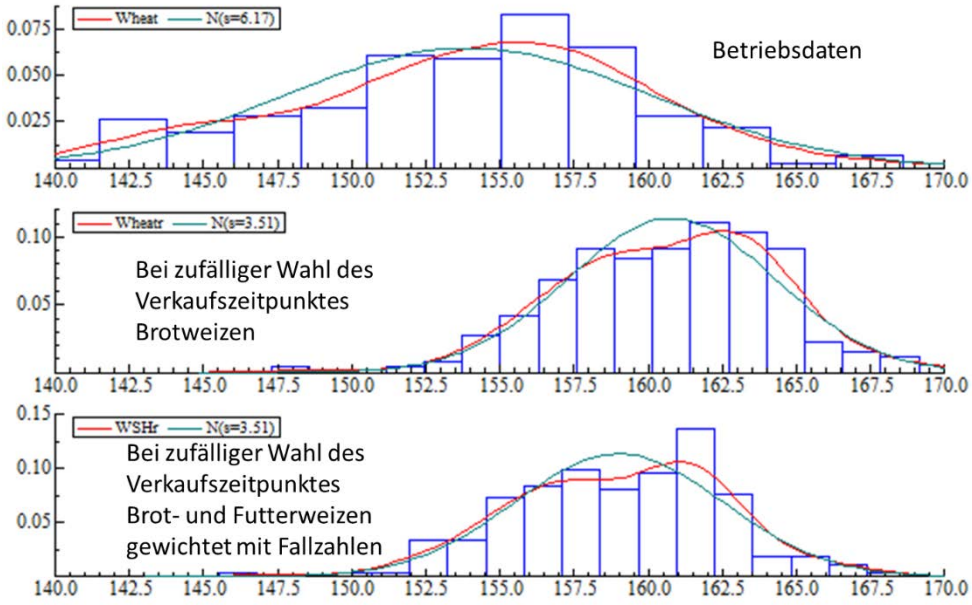
	Mittelwert	Minimum (90 % >)	Maximum (90 % <)	Stabw.	Rel. Stabw.
Weizenerlöse Betriebe	153,9	131,7 (145)	174,0 (161)	6,2	4,0 %
Weizenpreis im Mittel	160,9	148,2 (156)	170,4 (165)	3,5	2,2 %
Rapserlöse Betriebe	318,9	285,1 (306)	356,6 (333)	10,7	3,4%
Rapspreis im Mittel	320,9	299,4 (311)	340,4 (331)	7,4	2,3 %

Quelle: Eigene Berechnungen, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2016 und Beratungsdaten, 2016.

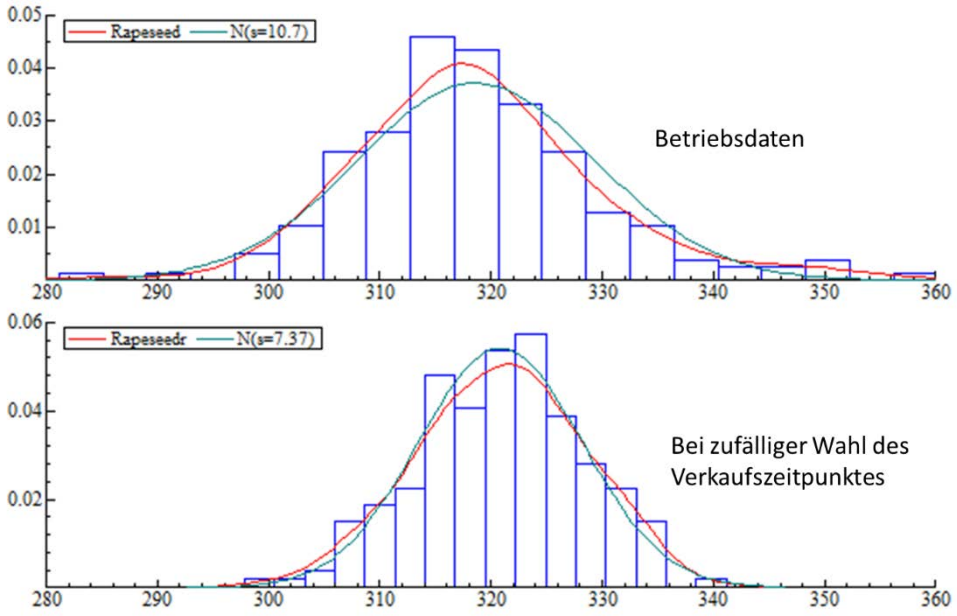
Die Daten für die Betriebe weichen leicht von der Normalverteilung ab, sie zeigen insbesondere größere Varianzen als die zufällige Vermarktung. Der Unterschied ist wiederum bei Weizen größer als bei Raps. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Tests gegenüber den beiden Benchmarks dargestellt.

Abbildung 1: Verteilung der durchschnittlichen Verkaufserlöse in €/T.

Weizen (2002/03-2013/14)



Raps (2002/03-2013/14)



Quelle: Eigene Berechnungen, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2016 und Beratungsdaten, 201.

Tabelle 2: T-Tests auf Paardifferenzen

	Besser als der Durchschnitt der Betriebe	Schlechter als der Durchschnitt der Betriebe	Besser als der durchschnitt-liche Preis	Schlechter als der durchschnitt-liche Preis
Weizen	**12,3 %**	**15,2 %**	1,0 %	**21,1 %**
Weizen *	--	--	1,5 %	**16,2 %**
Raps	4,9 %	**17,2 %**	2,9 %	0 %

Legende: * Bei der Vermarkung wird die in den jeweiligen Jahren im Mittel erzeugte Qualität in Bezug auf Brot- und Futterweizen berücksichtigt. Dazu werden die vom MRI (2016) ermittelten prozentualen Fallzahlen verwendet, mit Hilfe derer ein gewichteter Preis aus den Notierungen für Brot- und Futterweizen errechnet wird.

Quelle: Eigene Berechnungen, Daten von der Landwirtschaftskammer SH, 2016 und Beratungsdaten, 2016. MRI, verschiedene Jgg.

Es zeigt sich, dass bei Weizen 12 % der Betriebe „besser“ als das Mittel und 15 % schlechter als das Mittel vermarkten. Keiner der Betriebe kann signifikant besser vermarkten als es im Durchschnitt der Saison möglich gewesen ist. Bei Raps gibt es gar keinen eindeutigen Hinweis auf überdurchschnittlich vermarktende Betriebe. Während bei Weizen die Zahl der unterdurchschnittlich ver-

marktenden Betriebe bei Verwendung der zweiten Benchmark erwartungsgemäß ansteigt, sinkt dieser Anteil bei Raps auf null. Das Ergebnis, dass bei Raps keine signifikanten Abweichungen im Vermarktungserfolg zu einer durchschnittlichen Vermarktung zu finden sind, erklärt sich infolge der erhöhten Paardifferenzenvarianz, welche wiederum wahrscheinlich eine Folge der Vermarktung mittels Forwardverträgen ist. Durch das Abschließen von Forward-Verträgen sinkt die Korrelation zwischen den Erlösen und den Marktpreisen, weil der Preis der vorangegangenen Periode Einfluss auf die Vermarktung des nachfolgenden Jahres hat. Dadurch nimmt die Varianz der Paardifferenz zu, folglich werden weniger Betriebe als abweichend erkannt. Die Unterschiede zwischen Weizen und Raps sind im Wesentlichen auf die Vermarkungsergebnisse in den Hochpreisjahren 2007/08, 2010/11 und 2012/13 zurückzuführen. In diesen Jahren ist die Preisvolatilität bei beiden Früchten in der Saison hoch. Im Gegensatz zum Weizen kommt es bei Raps allerdings nicht zu einem Einbrechen der Preis am Ende der Saison, was den Unterschied erklären könnte. Während bei Weizen möglicherweise Forwardverträge für die nächste Saison nicht rechtzeig geschlossen worden sind, ist dies bei Raps gelungen. Damit sind Verluste durch Forwardkontrakte in Jahren mit steigenden Preisen durch Gewinne in Jahren mit sinkenden Preisen nahezu vollständig ausgeglichen worden.
Die Erlöse aus den Verkäufen bei Weizen und Raps sind über die Betriebe positiv korreliert. Betriebe, die gut bei Weizen vermarkten, tun dies auch bei Raps. Ein solcher Zusammenhang stellt sich allerdings auch bei zufälliger Entscheidung ein, sofern nur ein Verkaufszeitpunkt für beide Früchte gewählt wird. Die Korrelation der Preis verursacht diesen Zusammenhang.

Eine Erklärung der betrieblichen Unterschiede im Vermarktungserfolg ist nur begrenzt möglich. Betriebliche Indikatoren wie Größe, das Vorhandensein eines Lagers, die Ausbildung des Betriebsleiters können die Unterschiede nur in geringem Umfang voraussagen und sind in der Regel nicht statistisch signifikant, was unter anderem auf die große Variation gerade bei den Weizenerlösen zurückzuführen ist.

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Vermarktungserfolg sehr wahrscheinlich in erheblichem Maße vom Zufall bestimmt wird. Diesem Umstand sollte bei der Anwendung betrieblicher Benchmarkings Rechnung getragen werden. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Betrieben und es lassen sich Betriebe identifizieren, die zumindest besser als der Durchschnitt aller Betriebe vermarkten. Allerdings schaffen es auch diese Betriebe nicht bei

Berücksichtigung des Faktors Zufall Erlöse zu erzielen, die über dem Durchschnitt der Preise in der Saison liegen. Einen solchen Preis oder Erlös erreicht man jedoch bereits bei rein zufälliger Wahl des Verkaufszeitpunktes. Diese Analyse weist noch verschiedene Unzulänglichkeiten auf, wie zum Beispiel die fehlende Berücksichtigung der Vermarktung mittels Forwardverträgen oder die Berücksichtigung weiterer Erklärungsvariablen, wie zum Beispiel die Ziele der Betriebsleiter bei der Vermarktung und deren Entscheidungsstrategien. Dies könnte in der Zukunft näher erforscht werden, indem Preise vorangegangener Jahre zumindest teilweise in die Bewertung des Vermarktungserfolges einfließen. Die Unterschiede zwischen den Betrieben werden nur in geringem Maße durch die Größe der Betriebe, die Ausbildung des Betriebsleiters oder das Vorhandenseins eines Lagers bestimmt. Das gilt sowohl für Betriebe, die überdurchschnittlich vermarkten, aber auch für jene, die unter dem Durchschnitt liegen.

Literatur

Cox, J. C., Ross, S. A. and M. Rubinstein (1979): Option pricing: A simplified approach. Journal of Financial Economics, 7(3): 229-263.

Hanf C.-H. und J.-P. Loy (2005): Getreide lagern und verkaufen: Strategien zur Bestimmung des optimalen Verkaufszeitpunktes. In: Vorträge zur Hochschultagung 2005. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät, Heft 104. Kiel: 41–50.

Hollander, M., Wolfe, A. D., and E. Chicken (2013): Nonparametric statistical methods. John Wiley & Sons, 2013.

Landwirtschaftskammer (2015). Erzeugerpreisnotierung SH, Rendsburg.

Loy, J.-P., Holm, T., Steinhagen, C. und T. Glauben (2015): Seasonal Quality Premiums for Wheat: A Case Study for Northern Germany. Agribusiness, 31(1): 63-75.

Loy, J.-P. und A. Pieniadz (2009): Optimal grain marketing revisited: A German and Polish perspective. Outlook on Agriculture, 38(1): 47-54.

MRI (Max-Rubner Institute) (verschiedene Jgg.): Annual Grain Statistics. Kiel.

Sachs, L. (2002): Angewandte Statistik, 11. überarbeitete und aktualisierte Auflage.

Mehrzahlungsbereitschaft für Tierwohl: Fiktion, Nischenphänomen oder Zukunftstrend?

Birgit Schulze-Ehlers & Nina Purwins

Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung
Georg-August-Universität Göttingen

Einleitung

Das gesellschaftliche Interesse an mehr Tierwohl in der Schweinehaltung ist nach wie vor ungebrochen (Spiller et al, 2015). NGOs, Politiker, Wissenschaftler, Experten der Agrarbranche und Landwirte gleichermaßen diskutieren über politische und marktliche Lösungen für die Erhöhung des Tierwohls auf landwirtschaftlichen Betrieben. Im Zentrum der Debatte steht die Frage, ob sich der Wunsch der Bürger nach mehr Tierwohl auch in deren Kaufverhalten ausdrückt. Das 2013 eingeführte Tierwohl-Label des Deutschen Tierschutzbundes verfügt bislang nur über einen geringen Marktanteil. Die Klärung der zusätzlichen Zahlungsbereitschaft ist für eine marktliche Lösung relevant, bestimmt aber auch die Bewertung des durch mehr Tierwohl erreichten gesellschaftlichen Mehrwerts. Hierfür ist auch von Bedeutung, inwiefern besondere ethische Ansprüche an die Fleischproduktion von den Konsumenten aktuell schon durch die bestehenden Angebote gedeckt werden, welchen informatorischen Mehrwert entsprechend die Kennzeichnung von artgerecht erzeugtem Fleisch für die Verbraucher bietet.

In diesem Zusammenhang sind insbesondere die ökologische Erzeugung und die regionale Herkunft zu nennen, die wichtige Kriterien beim Fleischkauf darstellen (u.a. Roosen et al, 2003). Durch die Assoziationen dieser Merkmale mit insgesamt höheren ethischen Ansprüchen könnten Bio- und Regio-Lebensmittel bereits das Bedürfnis nach mehr Tierwohl erfüllen. Zudem wird in jüngster Zeit vermehrt die Konkurrenz von regional erzeugten Lebensmitteln mit Bio-Produkten thematisiert. Ob entsprechende Substitutionswirkungen, die bereits aufgrund ähnlicher ethischer Vorzüge bei Bio und Regio zu beobachten sind, auch im Zusammenhang mit der Tierwohlkennzeichnung auftreten könnten, soll in der vorliegenden Arbeit für Schweinefleisch untersucht werden.

Literaturüberblick

Die Einstellungen gegenüber und Präferenzen für Bio, regionale und tierwohlorientierte Produkte wurden bereits vielfach im Einzelnen untersucht. Tierwohl,

regionale Herkunft, faire Preise für Landwirte gelten als wichtigste Zusatz-Informationen von ökologisch erzeugten Lebensmitteln (Zander & Hamm, 2010). Verbraucher assoziieren Bio stark mit Tierwohl (Zenner et al, 2005, Kuhnert et al 2003; Harper & Makatouni, 2002). Zur Assoziation von Regionalität und Tierwohl liegt bisher eine qualitative Studie aus den USA vor, die einen starken kognitiven Zusammenhang nachweist (Zepeda & Deal, 2009). Insgesamt werden regionale Lebensmittel jedoch sehr positiv wahrgenommen und mit höheren ethischen Ansprüchen assoziiert (u.a. Henseleit et al, 2007), die auch Tierwohl einschließen könnten. Nachdem vornehmlich Analysen zu Präferenzen und Werten von Verbrauchern zu einzelnen Labeln vorgenommen wurden (Lusk & Briggeman, 2009), rückt die Bedeutung von Wechselwirkungen in den Vordergrund. Onozaka & McFadden (2011) analysierten und bewiesen erstmalig Substitutionseffekte und Komplementäreffekte am Beispiel Tomaten und Äpfeln bezüglich Regio-Label und Regio- mit Nachhaltigkeits-Labeln. Diese sind auf sich überlappende oder sich ergänzende Kaufmotive zurückzuführen.

Es ist für unterschiedliche Produktkategorien belegt, dass Regio eine größere Zielgruppe anspricht bzw. stärkere Kaufbereitschaften hervorruft, als Bio (vgl. Loureiro & Hine, 2002) für Kartoffeln in den USA, oder (Hasselbach and Roosen, 2015) für Bier, Brot und Milch. Hasselbach and Roosen (2015) stellten zudem eine positive Interaktion von ökologischer und regionaler Erzeugung fest.

Für Fleisch sind zwar bisher keine „Bio vs. Regio“-Studien bekannt. Jedoch wird die Bedeutsamkeit der regionalen Herkunft in verschiedenen Studien verdeutlicht. Roosen et al (2003) untersuchten in einer Studie das Kaufverhalten von Konsumenten von Rindfleisch in drei Ländern der EU und stellten fest, dass regionale Herkunft in Deutschland und Frankreich wichtiger als Marke und Preis des Rindfleisches ist. Umberger et al (2003) stützen dieses Ergebnis und sprechen von einer starken Präferenz der Verbraucher für regionales Rindfleisch.

Während die Präferenzen und Zahlungsbereitschaften von Verbrauchern bezüglich einzelner Tierwohlmaßnahmen in der Schweinehaltung bereits untersucht wurden (Lagerkvist et al, 2006; Liljenstolpe, 2008), fehlt es an Untersuchungen zum Verhältnis von Tierwohl, Bio und Regio als Determinanten der Kaufentscheidung für (Schweine-)Fleisch.

Material und Methoden

Zur Untersuchung der Fragestellung, wie Produktattribute wie Bio, Tierwohl und Regio, die Kaufwahrscheinlichkeit von Schweineschnitzel beeinflussen, liegen uns zwei Verbraucherbefragungen aus den Jahren 2011 (Studie 1) und

2015 (Studie 2) vor. Der Frauenanteil liegt bei 50,8 % (59,3%), und das Durchschnittsalter liegt bei 42,2 (43,8) Jahren, wobei das Minimum bei 18 (17) und das Maximum bei 75 (83) Jahren liegt.
Beide Studien beinhalten Fragen zum Einkaufsverhalten bei Fleisch, Konsumgewohnheiten verschiedener Fleischarten, Einstellungen zu Fleischkonsum, Tierwohl und Bio, Soziodemographie sowie ein Discrete-Choice-Experiment zur Erfassung der Zahlungsbereitschaften (z.B. Louviere & Woodworth, 1983). Hierzu werden den Befragten, in der Regel mehrfach hintereinander, verschiedene Auswahl-Sets zur Simulation einer Kaufentscheidung vorgelegt, wobei ein Produkt (hier: 500g Schweineschnitzel) systematisch in Bezug auf verschiedene Eigenschaften (Attribute) variiert wird. Durch die Auswahl eines der angebotenen Produkte bzw. die Entscheidung gegen alle angebotenen Produkte („Ich wähle keins dieser Angebote.“) können statistisch Rückschlüsse auf die individuelle Wertschätzung der Befragten für einzelne Produktmerkmale getroffen werden.
Die Produkteigenschaften („Attribute“) und Zustände („Attributlevel“) unterscheiden sich zwischen den beiden Studien in einzelnen Punkten, die jedoch deren Vergleichbarkeit unseres Erachtens nicht einschränken. Während beispielsweise in Studie 2 erstmals in einer Zahlungsbereitschaftsanalyse die Präferenz für das Label des Deutschen Tierschutzbundes analysiert wird, wurde für Studie 1 der Schriftzug „aus artgerechter Haltung“ für das Attribut Tierwohl verwendet, da zum Befragungszeitpunkt noch kein offizielles Label vorlag. Zudem beinhalteten in Studie 1 die Angebote jeweils nur ein Label („Bio“, „Aus der Region-für die Region“, „aus artgerechter Haltung“ und „QS“). In Studie 2 hingegen konnte ein Produkt alle drei erstgenannten Kennzeichnungen aufweisen, so dass auch Interaktionen zwischen den Labels analysierbar sind.
Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt in der Analyse der Trade-offs zwischen Bio, Regio und Tierwohl. Mit Hilfe der Statistiksoftware STATA13 schätzen wir auf Basis von Mixed Logit Modellen (Train, 2009, Hole 2007) den Einfluss der Attribute auf die Kaufbereitschaft. Auf diesem Wege kann die Heterogenität von Konsumentenpräferenzen berücksichtigt werden, die sich in den Standardabweichungen der mittleren Koeffizienten ausdrückt (Train, 2009). Durch die Modellierung der Interaktionseffekte kann der Erklärungsgehalt verbessert werden. (Louviere et al, 2010). Für Studie 1 werden Interaktionen der Kennzeichnugen mit dem Biokaufverhalten und der Tierwohl-Präferenz der untersucht. Studie 2 fokussiert die Wirkungen des Auftretens mehrerer Label.

Ergebnisse der Choice Experimente

Kernergebnisse Studie 1

Tabelle 1 stellt einen Auszug der Ergebnisse der Studie 1 dar, wobei Modell 1 die Haupteffekte der Produkteigenschaften betrachtet und Modell 2 zusätzlich Interaktionen abbildet. Dargestellt sind lediglich die mittleren Effekte der Attribute und die zugehörigen Konfidenzintervalle. Der Preis hat erwartungsgemäß in beiden Modellen einen negativen Einfluss auf die Kaufwahrscheinlichkeit; alle ergänzenden Eigenschaften wirken jeweils signifikant positiv. Im Vergleich zu Modell 1 sind in Modell 2 Interaktionen zwischen Bio, Regio und Tierwohl mit den Kernzielgruppen für Bio- bzw. Tierwohlprodukte berücksichtigt. Bio-Intensivkäufer haben demnach ausschließlich Präferenz für das Bio-Label und keine signifikant anderen Präferenzen für Tierwohl- oder Regio-Produkte als die übrigen Befragten.

Tabelle 1: Ergebnisauszug der Mixlogit Modelle Studie 1

	Model 1		**Model 2**	
Wahl	**Coef.**	**95% KI**	**Coef.**	**95% KI**
Preis	**-0.256*** **	-0.276; -0.236	**-0.257*** **	-0.277 ; -0.238
MithochwertigenFM	**1.174*** **	1.056; 1.293	**1.170*** **	1.054 ; 1.292
MitregionalenFM	**1.318*** **	1.204; 1.431	**1.324*** **	1.210 ; 1.438
OhneImportSoja	**0.741*** **	0.622; 0.859	**0.744*** **	0.623 ; 0.862
Bio	**0.996*** **	0.858; 1.135	**0.405*** **	0.155 ; 0.500
Region	**1.071*** **	0.949; 1.194	**1.214*** **	0.962 ; 1.275
Tierwohl	**0.720*** **	0.595; 0.846	**.439*** **	0.389 ; 0.711
InterBio_BioIntensivkäufer			**1.321*** **	1.023 ; 1.620
InterRegio_BioIntensivkäufer			**-0.149**	-0.423 ; 0.126
InterTierwohl_BioIntensivk			**0.028**	-0.248 ; 0.304
InterBio_TWPräf			**0.760*** **	0.520 ; 1.000
InterRegio_TWPräf			**-0.040**	-0.185 ; 0.265
InterTierwohl_TWPräf			**0.570*** **	0.345 ; 0.795
InterBio_weiblich			**-0.47**	0.277 ; 0.182
InterRegio_weiblich			**-0.233***	-0.446 ; -0.019
InterTierwohl_weiblich			**0.011**	-0.205 ; 0.226

Mittelwerte ; * p-value < 10%, ** p-value < 5%, *** p-value < 1%

Personen mit hoher Tierwohl-Präferenz weisen hingegen eine positive Interaktion mit Bio- und Tierwohl-Kennzeichnung, aber keine signifikante Interaktion mit Regio-Kennzeichnung auf. Demzufolge entscheiden sich Verbraucher mit Tierwohl-Präferenz häufiger für die Bio- oder Tierwohl-Variante, jedoch nicht für das Regio-Produkt, was die Hypothese, dass Bio häufig mit artegerechter Haltung assoziiert wird und bislang die Nachfrage nach artgerechter Haltung aufgenommen haben könnte, bestätigt.

Kernergebnisse Studie 2

Tabelle 2 stellt einen Auszug der Ergebnisse der Studie 2 dar, wobei Modell 1 nur die Haupteffekte der Produkteigenschaften und Modell 2 Interaktionen abbildet.

Tabelle 2: Ergebnisauszug der Mixed Logit Modelle Studie 2

	Modell 1		**Modell 2**	
Wahl	**Koef.**	**95% KI**	**Koef.**	**95% KI**
Mittelwert				
Preis	**-0,115*** **	-0,141; -0,089	**-0,141*** **	-0,169; -0,112
Bio-Label	**0,767*** **	0,563; 0,971	**1,166*** **	0,888; 1,445
Tierwohl-Label	**0,299*** **	0,139; 0,459	**0,789*** **	0,508; 1,069
Marken-Label	**0,290*** **	0,125; 0,455	**0,265*** **	0,091; 0,440
„Fairer Preis für den Landwirt“	**0,843*** **	0,679; 1,007	**0,839*** **	0,665; 1,013
"Aus der Region - für die Region" (RegioA)	**0,787*** **	0,577; 0,997	**1,271*** **	0,923; 1,618
„Fütterung mit regionalen Futtermitteln“ (RegioF)	**0,666*** **	0,470; 0,863	**0,744*** **	0,456;1,031
„Transportzeit der Schweine maximal 6h“	**0,186** **	-0,024; 0,395	**0,166**	-0,049; 0,381
InterBioTierwohl			**-0,687*** **	-0,994; -0,381
InterBioRegioA			**-0,665*** **	-1,029; -0,301
InterTierwohlRegioA			**-0,518** **	-0,989; -0,048
InterTierwohlRegioF			**-0,390***	-0,796; 0,015

* p-Wert < 10%, ** p-Wert < 5%, *** p-Wert < 1%

Die Vorzeichen der Koeffizienten entsprechen wie in Studie 1 in beiden Modellen den erwarteten Wirkungsrichtungen der Attribute. Im Vergleich zu den Produkteigenschaften Bio und Regio hat das Tierwohl-Label in beiden Modellen einen deutlich schwächeren Einfluss auf die Kaufwahrscheinlichkeit.
Die Berücksichtigung der Interaktionen der Labels in Modell 2 führt einerseits zu einer Erhöhung der Haupteffekte der betreffenden Labels. Die im unteren

Teil der Tabelle gezeigten signifikanten Interaktionseffekte sind alle negativ und lassen auf Substitutionseffekte schließen, die allerdings nicht vollständig sind.
Die Standardabweichungen der einfachen Mixed Logit Modelle der Studie 1 und 2 (jeweils Modell1) sind bei allen Koeffizienten mit p-Werten von 0,000 statistisch signifikant[7].

Diskussion

In beiden Studien sind die Bio- und die regionale Kennzeichnung der Tierwohl-Kennzeichnung im Einfluss auf die Kaufbereitschaft überlegen. Im Ergebnis aus Studie 1 zeigt sich zudem, dass die Zielgruppe der Bio-Käufer im Vergleich zu den Nicht-Käufern nur eine erhöhte Kaufbereitschaft für Bio- nicht aber für Regio- oder Tierwohl-Fleisch hat. Eine hohe Tierwohl-Präferenz erhöht die Kaufbereitschaft für Bio- und Tierwohl-Fleisch, aber nicht für regional erzeugtes Fleisch. Regionalität wird demnach in dieser Studie nicht hinreichend mit Tierwohl in Verbindung gebracht und könnte damit durch die Verbindung mit einem Tierwohl-Label gewinnen. Dies wird mit der Studie 2 in Norddeutschland durchgeführten Befragung genauer überprüft. Ein ergänzendes Tierwohl-Label würde demnach die Kaufbereitschaft für Bio-Produkte kaum steigern, während umgekehrt das Tierwohl-Label häufiger deutlich häufiger gewählt wurde, wenn es in Kombination mit einem Bio- oder Regio-Label auftrat.
Schlussendlich wirkt das Tierwohl-Label, das auf einen einzigen ethischen Anspruch abhebt, weniger stark auf die Kaufbereitschaft als Bio- oder Regio-Labels. Diese stellen aber auch keine vollständigen Substitute für Tierwohl-Informationen dar. Die Regio-Kennzeichnung profitiert stärker von einem zusätzlichen Tierwohl-Label als das Bio-Label, was darauf hinweist, dass weniger starke Assoziationen von regionaler Herkunft mit Tierwohl vorliegen, das entsprechende Regio-Angebot also bislang die Tierwohl-Bedürfnisse noch nicht erfüllt und ggfs. zusätzliche Zielgruppen erreicht werden können. Eine Positionierung von Tierwohl-Schweinefleisch in Kombination mit regionalen Angeboten verspricht eine positive Gesamtwirkung.

Schlussfolgerung für die Positionierung von Tierwohl

Insgesamt kann gefolgert werden, dass die Zielgruppe für Schweinefleisch aus artgerechter Haltung zu einem hohen Anteil deckungsgleich mit den bio-affinen Käufern ist. Eine regionale Kennzeichnung, die grundsätzlich breitere Käuferschichten als Bio anspricht, kann durch die zusätzliche Kombination mit einer Tierwohl-Kennzeichnung jedoch ggfs. weitere Zielgruppen ansprechen, die sich

[7] Aus Platzgründen wurde in diesem Beitrag auf eine ausführliche Darstellung der Standardabweichungen verzichtet.

im Bio-Konzept aus unterschiedlichen Gründen nicht wiederfinden. Die Mehrzahlungsbereitschaft für Tierwohl ist angesichts dieser Ergebnisse keine Fiktion. Tierwohl als alleiniges Merkmal eines konventionellen Fleischprodukts scheint jedoch kaum mit regionalen und ökologischen Angeboten konkurrenzfähig zu sein. Dies ist aus politischer Perspektive bei der Interpretation des aktuellen Markt(miss)erfolgs zu beachten. Im Fleischmarketing ist die Positionierung zu überdenken.
Wie hoch die Mehrzahlungsbereitschaft der Verbraucher ist, soll an dieser Stelle nicht beantwortet werden, da für die erste Studie noch kein reales Label vorlag und in der zweiten Studie keine bevölkerungsrepräsentative Befragung durchgeführt wurde. Zudem sind weitere das Kaufverhalten beeinflussende Variablen zu berücksichtigen, um den Erklärungsgehalt der Modelle zu erhöhen.

Danksagung

Die Studie 2 ist Teil einer Befragung, die durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde.

Literatur

Harper, G.C., Makatouni, A. (2002).Consumer perception of organic food production and farm animal welfare. British Food Journal 104(3/4/5): 287 – 299

Hasselbach, J. L., & Roosen, J. (2015). Consumer Heterogeneity in the Willingness to Pay for Local and Organic Food. Journal of Food Products Marketing, 21(6): 608-625.

Henseleit, V. M., Kubitzki, S., Schotz, D., & Teuber, R. (2007). Consumer preferences for locally produced foods - A representative analysis of the influencing factors. Berichte über Landwirtschaft, 85(2): 214-237.

Hole, A. R. (2007). Fitting mixed logit models by using maximum simulated likelihood. The Stata Journal, 7(Number 3,): 388-401.

Kuhnert, H., Feindt, P. H., Wragge, S., & Beusmann, V. (2003). Nachfrage nach Öko-Lebensmitteln: Veränderung durch BSE?. Ökologie & Landbau, Jahrbuch Öko-Landbau 2003, 125(1/2003), 29-32.

Lagerkvist, C. J., & Hess, S. 2010. A meta-analysis of consumer willingness to pay for farm animal welfare. European Review of Agricultural Economics, 38(1): 55-78.

Lancaster, K. J. (1966). A new approach to consumer theory. The Journal of Political Economy, 2:132-157.

Liljenstolpe, C. (2008). Evaluating animal welfare with choice experiments: an application to Swedish pig production. Agribusiness, 24(1), 67-84.

Louviere, J. J., Flynn, T. N., & Carson, R. T. (2010). Discrete choice experiments are not conjoint analysis. Journal of Choice Modelling, 3(3), 57-72.
Louviere, J. J., & Woodworth, G. (1983). Design and analysis of simulated consumer choice or allocation experiments: an approach based on aggregate data. Journal of Marketing Research, 20(4) 350-367.
Loureiro, M. L., & Hine, S. (2002). Discovering niche markets: A comparison of consumer willingness to pay for local (Colorado grown), organic, and GMO-free products. Journal of Agricultural and Applied Economics, 34(03), 477-487.
Lusk, J. L., & Briggeman, B. C. (2009). Food values. American Journal of Agricultural Economics, 91(1), 184-196.
Onozaka, Y., & Mcfadden, D. T. (2011). Does local labeling complement or compete with other sustainable labels? A conjoint analysis of direct and joint values for fresh produce claim. American Journal of Agricultural Economics, 93(3), 693-706.
Revelt, D., & Train, K. (1998). Mixed logit with repeated choices: households' choices of appliance efficiency level. Review of Economics and Statistics, 80(4), 647-657.
Roosen, J., Lusk, J. L., & Fox, J. A. (2003). Consumer demand for and attitudes toward alternative beef labeling strategies in France, Germany, and the UK. Agribusiness, 19(1), 77-90.
Spiller, A., Gauly, M., Balmann, A., Bauhus, J., Birner, R., Bokelmann, W., Christen, O., Entenmann, S., Grethe, H., Knierim, U., Latacz-Lohmann, U., Martinez, J., Nieberg, H., Qaim, M., Taube, F., Tenhagen B.-A., Weingarten, P. (2015).Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 221.
Train, K. E. (2009). Discrete choice methods with simulation: Cambridge university press.
Umberger, W.J., Feuz, D.M., Calkins, C.R., & Sitz, B.M. (2003). Country-of-origin labeling of beef products: U.S. consumers perceptions. Journal of Food Distribution Research, 34(3), 103-116.
Zander, K., & Hamm, U. (2010). Consumer preferences for additional ethical attributes of organic food. Food Quality and Preference, 21(5), 495-503.
Zenner, S., Wirthgen, B., & Altmann, M. (2005). Präferenzen für unterschiedliche Produktionsverfahren und Herkunftsbezeichnungen–dargestellt am Beispiel eines Lebensmittels aus der Direktvermarktung. Agrarwirtschaft, 54(2), 112-118.

Operative Planung der optimalen Fruchtfolgen mit Linearer Programmierung

H.-H. Sundermeier[1,2)], M. Verhaagh[1)], H. Burmeister[1)] und S. Garlichs[1)]

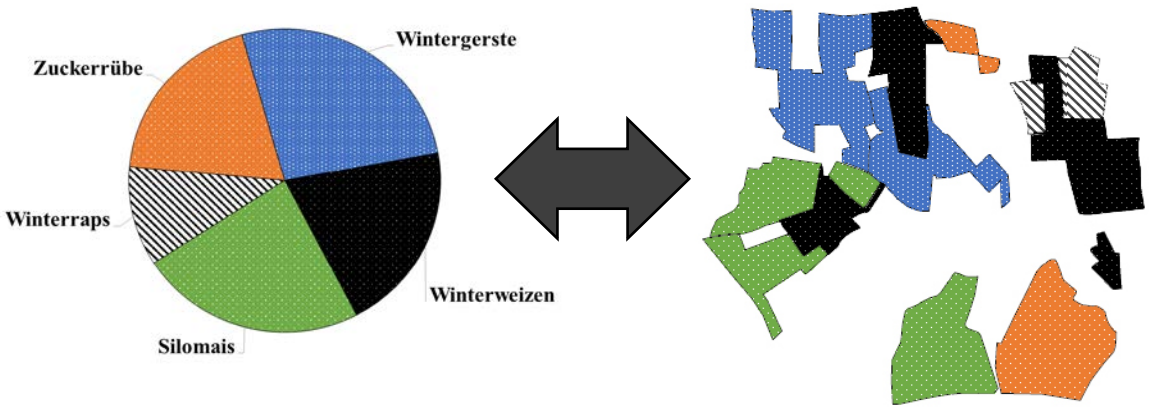
[1)] Institut für Agrarökonomie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bzw.
[2)] Landwirtschaftlicher Buchführungsverband, Kiel

1 Einführung

Die Anbausequenzen der Fruchtarten (Fruchtfolgen) auf den einzelnen Schlägen bilden die zentralen Dispositionselemente für die operative Produktionsplanung eines landwirtschaftlichen Betriebes. Obwohl die wirtschaftlich optimale Nutzung der Flächen und weiterer Ressourcen traditioneller Erkenntnisgegenstand der landwirtschaftlichen Betriebslehre ist, fehlen nach wie vor gesamtbetriebliche Optimierungsmodelle, die den komplexen Alternativenraum eines realen Sachproblems mit seinen Wechselbeziehungen und Nebenbedingungen abbilden und wirtschaftlich optimale Anbausequenzen algorithmusgestützt (optimierend im Sinne des Operations Research) ermitteln können.

Für eine Machbarkeitsstudie brachen die Autoren mit der gängigen Vorstellung von einer „betrieblichen Fruchtfolge“ und deren Abbildungsusancen in Linearen Programmierungs-(LP)-Modellen. Eine zeitliche Folge von angebauten Fruchtarten kann es nur für einen einzelnen Schlag geben; aus den relativen Flächenanteilen der angebauten Früchte an der Gesamtfläche ergibt sich dann ein Fruchtartenverhältnis (aber keine Fruchtfolge!).

Abbildung 1 veranschaulicht einen Teilaspekt dieser veränderten Problemauffassung: Die „Tortengrafik“ ist eine abstrakte Wiedergabe des Anbauverhältnisses der Fruchtarten in einem Erntejahr, während die Flächenskizze zusätzlich eine Vorstellung von Größe, Form sowie Hofentfernung der beteiligten Schläge wiedergeben kann.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Dury et al. 2012

Abbildung 1: Abstrakte Darstellung der Fruchtartenanteile vs. Schlagspezifischer Anbauplan

Diese Darstellung taugt jedoch allenfalls als Momentaufnahme; eine zeitliche Folge der angebauten Früchte ist mit einer derartigen Grafik nicht darstellbar. Um die Vorzüglichkeit einer Fruchtartalternative auf einem einzelnen Schlag zu prüfen, benötigt man eine zeitliche Modellierung der intertemporalen Zusammenhänge. Nach Erfassung der Anbauhistorie auf einem Schlag (Vorfrucht bzw. Vor-Vorfrucht) folgt die Abbildung der Fruchtartalternativen für das eigentliche Planjahr. Weitere Perioden müssen sich anschließen, da die jeweiligen Vorfrüchte auch die Vorzüglichkeiten der Fruchtarten in den Folgejahren und – über alle Schläge des Betriebs betrachtet – die betrieblichen Systemzustände für die Folgeperioden beeinflussen.

Die Gesamtheit der parzellen- (bzw. schlag-) spezifischen Fruchtartsequenzen innerhalb des Planungshorizonts mit ihrer betrieblichen Beziehungs- und Ressourcenverflechtung wird nun zum zentralen Betrachtungsgegenstand für ein Lineares Programmierungsmodell. Aus pragmatischen Erwägungen haben wir den Planungshorizont zunächst auf drei Jahre begrenzt. Schließt man die Anbauhistorie der Vorfrüchte ein, ergibt sich also eine Betrachtungszeitspanne von insgesamt fünf Wirtschaftsjahren.

Diese auf den ersten Blick im Vergleich zu publizierten Modellkonstruktionen nur geringfügig modifizierte Problemauffassung verändert Größe, Komplexität und Nebenbedingungen (z. B. Binarität) für die Lösungsraumabbildung grundlegend; sie ist aber der notwendige Grundstein für die Entwicklung praxistauglicher Entscheidungshilfen. Die folgenden Ausführungen umreißen die Ergebnisse von drei Entwicklungsstudien aus dem Institut für Agrarökonomie der Christian-Albrechts-Universität**.**

2 Bestandteile des Planungsproblems

Gängige Lehrbuchmodelle zur Betriebsplanung mit Linearer Programmierung abstrahieren von schlagspezifischen „Komplexitätstreibern“ (Schlaggröße, -form, Hofentfernung, Anbaurestriktionen, Vorfrucht etc.), und vereinfachen damit Problemauffassung und Modellierung in unzulässigem Ausmaß. Derartig „über“-vereinfachte Modelle ignorieren entscheidende Aspekte und Details des Realproblems und können daher auch (modellierungsbedingt!) keine praxistauglichen Entscheidungshilfen für eine Anbauplanung im Einzelfall liefern. Werden sie trotzdem benutzt, sind aufwendige Nach- und Anpassungsarbeiten notwendig, die die Anwender auf Dauer frustrieren und die benutzte mathematische Methode (z. B. Lineare Programmierung) in Misskredit bringen.

Die nach unserer Auffassung notwendigen Modellierungsdetails fasst Tabelle 1 vereinfacht zusammen. Die Darstellung fußt auf einer umfänglichen und aktuellen standorttheoretischen Publikation von Kuhlmann (2015). Der Autor gruppiert die wirtschaftlich relevanten Standortmerkmale in natürliche, technologische, strukturelle und marktliche Faktoren. Die Spalte „Organisationsprinzipien“ enthält einige Aspekte und Kriterien, die auf eine wirtschaftlich optimale und gleichzeitig Nachhaltigkeitsziele berücksichtigende Wirtschaftsweise ausgerichtet sind.

Als weitere Konstituenten für einzelbetriebliche Landnutzungsprogramme und -intensitäten führt Kuhlmann unterschiedliche Befähigungen und Verhaltensweisen der Landnutzer bezüglich Realisierung technischer und ökonomischer Effizienz, Risikoverhalten, Zeitpräferenz und Berücksichtigung von Nebenbedingungen für das erwerbswirtschaftliche Ziel an. Die für die Landnutzung bedeutsamen Faktoren und Organisationsprinzipien sammelt Kuhlmann (2015) aus standorttheoretischer Perspektive und formuliert als erwerbwirtschaftliches Ziel die nachhaltige Maximierung der betrieblichen Bodenrente.

Standortfaktoren	Organisationsprinzipien	Greening-Auflagen
• **natürliche**: Bodenart, Ertragspotential, Steinbesatz, … • **technologische**: genetische Potentiale der Pflanzen und Tiere, verfügbare Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Maschinen und technische Anlagen • **strukturelle**: Entfernung der Produkt- und Faktormärkte, Hof-Feld-Entfernung, Größe und Formen der Feldstücke • **marktliche** Standortfaktoren: Relationen zwischen Produktpreisen, Faktorpreisen und Faktor- bzw. Produktpreisen	➞ Leistungsfähigkeit des Bodens: Nährstoffausgleich, Humusausgleich, Begrenzung von Unkraut- und Krankheitserregern ➞ Erfolgsstabilisierung: Marktrisikoausgleich und Produktionsrisikoausgleich ➞ angepasste „Futterproduktion“ für Tiere und/oder Biogasanlage, … ➞ bestmögliche Nutzung verfügbarer Produktionskapazitäten (Arbeitskräfte, Betriebsmittel, …)	§ Mindest-Fruchtartendiversität § ökologische Vorrangflächen § Düngeverordnung § Gülle-VO § Nachweispflichten § …

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Kuhlmann, Friedrich (2015): Landwirtschaftliche Standorttheorie – Landnutzung in Raum und Zeit, DLG-Verlag, S. 29 u 40

Tabelle 1: Bestandteile des Planungsproblems: Standortfaktoren, Organisationsprinzipien, Gesetzesrahmen

Von den Autoren ergänzt ist die Spalte „Greening-Auflagen“. Unter diesem Stichwort fassen wir all die Vorschriften und Regelwerke zusammen, die als zusätzliche Nebenbedingungen künftig bei einer Betriebsplanung zu beachten sind. Die Vorschriften der Düngeverordnung sind hier ebenso zu berücksichtigen wie die Greening-Auflagen zur Fruchtarten-Diversifizierung. Verstöße gegen diese gesetzlichen Auflagen können eine Schmälerung oder Versagung der Flächenprämien nach sich ziehen. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen könnte eine zeitweise Verletzung (durch Vereinfachung oder Spezialisierung) im Einzelfall sogar sinnvoll sein. Durch „Einpreisung“ einer nachfolgenden Kürzung der Flächenprämien ließe sich deren wirtschaftliche Folge berücksichtigen.

3 Schrittfolge und Stand der Modellentwicklung

Die Sichtung des vorhandenen Schrifttums zur Fruchtfolgenplanung im Hinblick auf eine wirtschaftlich optimale operative Betriebsplanung ergab zwar einige Parallelen und ähnliche Kategorisierung der Problemkostituenten (z. B. Dury et al., 2012). Vorlagen für deren mathematische Formulierung nach dem Regelwerk der Linearen Programmierung haben wir jedoch nicht vorgefunden.

Die erste Lösungsidee hierzu verfolgte Verhaagh (2014) in einer prinzipiellen Machbarkeitsstudie, deren Ergebnisse Verhaagh und Sundermeier (2015) publizierten. Die ersten Machbarkeitstests zur schlagspezifischen Fruchtfolgenmodellierung gelangen bis zu einer Problemgröße von acht Schlägen und ermutigten die Autoren zur Weiterentwicklung zu einer Fruchtfolge-Entscheidungshilfe für den Praxis-Einsatz.

Die nächsten Schritte in Richtung Praxistauglichkeit besorgten Burmeister (2015) und Garlichs (2015). Burmeister lotete einige Modellierungsalternativen zur besonderen Berücksichtigung von Risiken aus der natürlichen (Variabilität von Naturalerträgen und nutzbaren Arbeitszeitspannen) und wirtschaftlichen Umwelt (Variabilität von Produktpreisen) aus, während Garlichs die schlagspezifischen und zeitlich differenzierten Ausbringungsmöglichkeiten für Wirtschaftsdünger (Schweinegülle) einerseits unter andererseits die Berücksichtigung des zeitlichen Wirtschaftsdüngeranfalls und der gesamtbetrieblichen Lagerkapazitäten abbildete.

Die Modelle von Burmeister und Garlichs beinhalten bereits die Greening-Restriktionen zur Fruchtartendiversität bzw. zur Düngeverordnung und wurden für existente Betriebe mit bis zu 26 Schlägen eingesetzt. Dabei entstanden LP-Matrizen mit derzeit bis zu 7.500 Aktivitäten (mit etwa 1.160 Binärvariablen) für einen Einzelbetrieb. Diese ließen sich mit dem LP-Solver der Fa. Frontline problemlos bearbeiten.

Strafkostenansätze erlauben das Aufweichen zu strikter Restriktionen. Wenn beispielsweise die betrieblichen Arbeitskapazitäten ausgeschöpft sind, müssen nicht zwangsläufig Arbeiten an Lohnunternehmer abgegeben werden. Durch höher vergütete Überstunden können Arbeitszeitspannen „gestreckt“ werden, solange dies kostengünstiger ist als eine betriebsexterne Arbeitserledigung.

Praxisrelevante Entscheidungshilfen müssen u. a. a) das Real-World-Sachproblem ausreichend genau abbilden, b) vorhandene betriebliche Daten, Datenmodelle bzw. Datenhaltungssysteme verwenden, c) vorhandene Schnittstellen zur Datenaufnahme nutzen, d) Schnittstellen zur Datenweitergabe bedienen, e) auf einem robusten Lösungsalgorithmus beruhen, f) ohne manuelle Aufbereitungsschritte nachvollziehbare Ergebnisse liefern und g) zusätzliche Informationen über die Stabilität der Ergebnisse ausweisen.

4 Ausrichtung auf Anforderungen aus der Anwendungspraxis

Die besonderen Aspekte der zeitlichen Modellstrukturierung haben wir bereits oben beschrieben. Als Planungshorizont definieren wir drei Wirtschaftsjahre: Die eigentliche Planungsperiode für die anstehenden Anbauentscheidungen sowie zwei Folgejahre für die Berücksichtigung von Effekten, die sich aus dem

Planjahr ergäben. In Verbindung mit der jeweiligen Anbauhistorie (Vorfrucht und Vor-Vorfrucht) entsteht für jeden Schlag und für die innerbetriebliche Ressourcenallokation ein insgesamt fünfjähriger Betrachtungshorizont. Zur differenzierten Abbildung der Arbeitswirtschaft modellieren wir Sub-Intervalle mit einer Dauer von 14 Tagen. Mächtigster Komplexitätstreiber bleibt die Zahl der Einzelschläge.

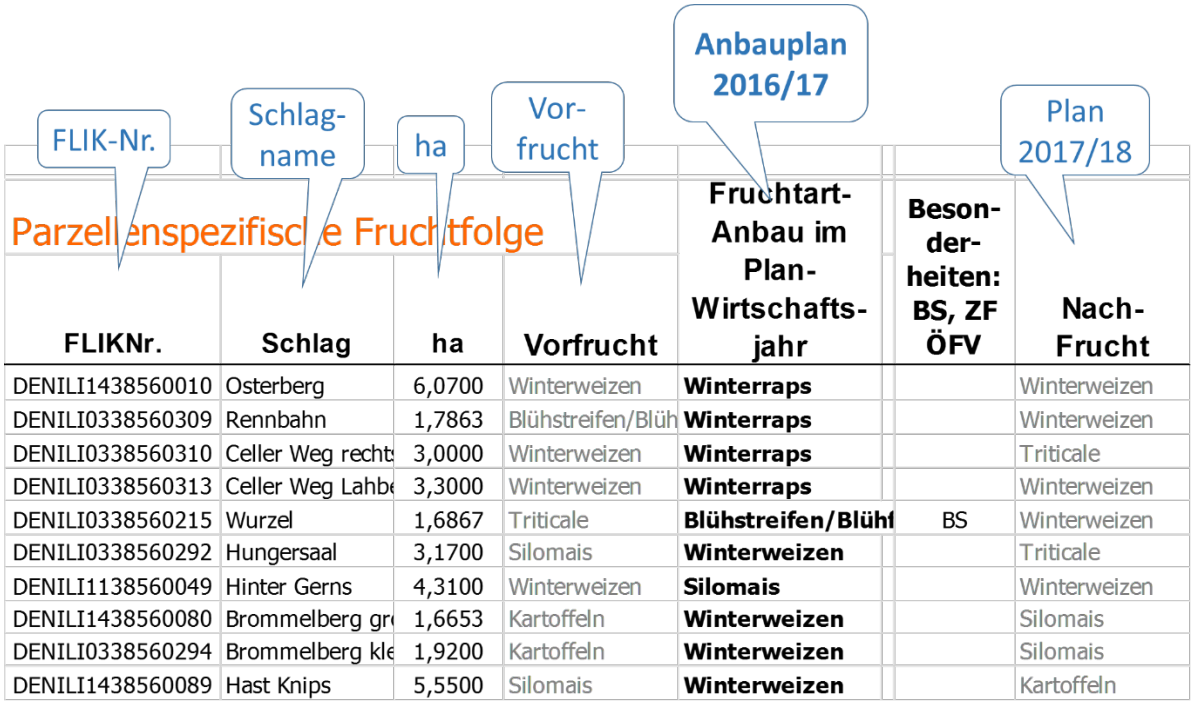
Praxisentscheidend ist ein möglichst geringer Aufwand für Datenbeschaffung und -aufbereitung. Die Exportschnittstelle des Sammelantrags für die Flächenprämien nutzen wir zur Übernahme der Flächenidentifikator-Nummer (FLIK), des Schlagnamens, der Größe sowie der Vorfrüchte. Die Landwirtschaftsverwaltung kann hiermit zugleich Greening-Auflagen zur Fruchtfolgegestaltung kontrollieren. Mangels Schnittstellen-Standardisierung sind weitere betriebliche Datenquellen (Buchführung und Schlagkartei) derzeit noch nicht für eine automatische Datenübernahme nutzbar.

Ein konzeptueller Verknüpfungsvorschlag entstand für das Buchführungssystem WIKING des Landwirtschaftlichen Buchführungsverbandes. Die darin enthaltenen Zusatz-Naturalfelder (ca. 35) für die Datensätze der Finanzbuchführung sind individuell definierbar und könnten wesentliche Angaben zum naturalen Betriebsgeschehen aufnehmen. Der große konzeptuelle Vorteil liegt in der Reduktion der Schnittstellenzahl auf ein einziges System. Trotz der Verschmelzung zu einem Datenhaltungssystem sollten Bedienung und Datenbeschickung der Systeme weiterhin arbeitsteilig möglich sein: die produktionstechnischen Daten kommen vom Betrieb, während die Aufzeichnungen zur Finanzbuchführung besondere Fachkenntnisse benötigen und daher zumeist durch landwirtschaftliche Buchstellen erfolgen.

Die Konstruktion der einzelbetrieblichen LP-Modelle (Ablage der LP-Matrix als Kurzfassung des problemspezifischen linearen Gleichungssystems) sowie die Interpretation der Optimal-Lösungen erfolgen derzeit mit Hilfe von Microsoft-EXCEL als Frontend. Mit dessen vielfältigen Gestaltungs- und Visualisierungsoptionen lässt sich der differenzierte Informationsgehalt der LP-Ergebnisse (betrieblicher Optimalplan einschließlich Grenzwerte sowie Sensitivitätsbericht mit Stabilitätsbereichen) gezielt und grafisch unterstützt aufbereiten.

Die Rohergebnisse eines LP-Optimierungssystems beschränken sich auf die tabellarische Wiedergabe der Optimallösung in seinen Einzelaspekten, die sich bei der vorliegenden Problemgröße über mehrere Hundert Seiten erstrecken können. Dieser Bericht enthält neben dem optimalen Anbauplan (in Rohfassung) auch alle nicht in die Lösung gelangten Anbaualternativen, die mit einem Aktivitätsumfang von Null ausgegeben werden. Derartige Auswertungen sind für den Praxiseinsatz nicht zumutbar und müssen daher „leicht verdaulich“ auf-

bereitet werden. Einen Eindruck von dieser Aufbereitung vermittelt der Ergebnis-Auszug in Abbildung 2.



FLIKNr.	Schlag	ha	Vorfrucht	Fruchtart-Anbau im Plan-Wirtschafts-jahr	Besonderheiten: BS, ZF ÖFV	Nach-Frucht
DENILI1438560010	Osterberg	6,0700	Winterweizen	**Winterraps**		Winterweizen
DENILI0338560309	Rennbahn	1,7863	Blühstreifen/Blüh	**Winterraps**		Winterweizen
DENILI0338560310	Celler Weg rechts	3,0000	Winterweizen	**Winterraps**		Triticale
DENILI0338560313	Celler Weg Lahbe	3,3000	Winterweizen	**Winterraps**		Winterweizen
DENILI0338560215	Wurzel	1,6867	Triticale	**Blühstreifen/Blühf**	BS	Winterweizen
DENILI0338560292	Hungersaal	3,1700	Silomais	**Winterweizen**		Triticale
DENILI1138560049	Hinter Gerns	4,3100	Winterweizen	**Silomais**		Winterweizen
DENILI1438560080	Brommelberg gr	1,6653	Kartoffeln	**Winterweizen**		Silomais
DENILI0338560294	Brommelberg kle	1,9200	Kartoffeln	**Winterweizen**		Silomais
DENILI1438560089	Hast Knips	5,5500	Silomais	**Winterweizen**		Kartoffeln

Abbildung 2: Aufbereitung des LP-Rohergebnisses (Ausschnitt); Quelle: Eigene Darstellung

Die aktuellen Arbeiten konzentrieren sich auf a) eine weitere Annäherung an Regelwerk und Datenmodell der landwirtschaftlichen Rechnungslegung (Wirtschaftsjahresgrenzen, Bewertung von Feldinventar und selbsterzeugten Vorräten, konsequente Nutzung und Detaillierung der Kontierungskonzepte, konkrete Vorschläge zur Belegung der Zusatznaturalfelder im Buchführungssystem WIKING), b) Aufhebung bzw. Anhebung des Limits für die maximale Zahl der abzubildenden Schläge, c) ein vereinfachtes Handling des Matrizenaufbaus sowie d) eine verbesserte Darstellung und Erläuterung der Optimallösungen in einem selbst erklärenden Ergebnisbericht

5 Schießen wir mit Kanonen auf Spatzen?

„Kleine Modelle, die Großes leisten“ so lautete lange Zeit ein geflügeltes Wort für die Ausrichtung von Programmsystemen für landwirtschaftliche Entscheidungshilfen. Diese Maxime war vernünftig, solange – im Vergleich zu den heutigen technischen Möglichkeiten und deren Kosten - knappe Datenhaltungs- und Rechenkapazitäten die Entwicklungsmöglichkeiten beschränkten.

Im Zeitalter des „Precision Farming“ entsteht eine Flut von Detaildaten, die auch beim Aufbau von betriebswirtschaftlichen Entscheidungshilfen erfolgreich genutzt werden kann. Heute sollte die Maxime bei der Abbildung der Sachprobleme aus der realen Welt eher lauten „So einfach wie möglich – aber nicht einfacher!“. Eine „Über“-Vereinfachung von Modellen wird in der Praxis schnell entdeckt, frustriert engagierte Anwender und bringt die verwendete mathematische Methode in Misskredit.

Die oben skizzierte, auf den ersten Blick aufwendige Modellierung des Sachproblems zur Identifizierung optimaler Fruchtfolgen auf den einzelnen Schlägen eines Betriebs berücksichtigt unseres Erachtens die wesentlichen wirtschaftlich relevanten Problemkonstituenten und ist damit sachgerecht und problemadäquat. Die Modell-Komplexität entsteht durch die simultane Betrachtung aller Restriktionen bei der Anwendung der Linearen Programmierung. Bei mehrperiodigen, quasidynamischen Modellen, die nicht mit simultanen sondern mit sequentiellen Optimierungsmethoden bearbeitet werden, müssten die lokalen und zeitlichen Einzel-Allokationsoptima durch sehr aufwendige Näherungsverfahren wieder angeglichen werden.

Die LP-Gleichungssysteme können bei der Anwendung auf in der Praxis anzutreffende Probleme enorme Größenordnungen (ca. 10000 Aktivitäten, wobei u. U. mehrere Tausend Unbekannte als 0/1-Variable (binär) zu kennzeichnen sind) erreichen. Matrizengeneratoren (Programmsysteme, die die Detaildaten des Planungsproblems in ein Gleichungssystem „übersetzen“) eröffnen auch hierfür einen technischen Lösungsweg für die Praxis.

Auch die zunächst extrem aufwendig erscheinende Datenbeschaffung verliert ihren Schrecken, wenn die vorhandenen Datenhaltungssysteme (Buchführung, Grundantrag, Schlagkartei) zu einem Datenmodell konsolidiert werden. Die Unterwerfung der Bezeichnungssystematik unter die Terminologie für Finanzbuchführungssysteme erscheint anfangs ungewöhnlich; die Abbildungsusancen für Beschaffung, Absatz und Finanzierung sind jedoch unumstritten und bilden damit einen quasi-amtlichen Standard.

6 Fazit

Zerlegt man das zunächst vertraut erscheinende Planungsproblem zur Ermittlung der wirtschaftlich optimalen schlagspezifischen Fruchtfolgen in seine einzelnen Konstituenten, erreicht die Problemkomplexität ein auf den ersten Blick Besorgnis erregendes Ausmaß. Für die Entwicklung praxistauglicher Entscheidungshilfen muss man sich dieser Herausforderung stellen und nach geeigneten Lösungswegen suchen. Die bisher erreichten Meilensteine auf dem Weg zur Entwicklung eines komfortablen Entscheidung-Unterstützungssystem ermutigen uns, diese Entwicklungsrichtung weiter zu beschreiten, denn

- die Komplexität von Real-World-Sachproblemen zur operativen Planung optimaler Fruchtfolgen wird im Detail abgebildet,
- die individuelle einzelbetriebliche Ausgangssituation ist durch Modellierung der Anbauhistorien berücksichtigt,
- das Konzept zur Integration und Konsolidierung vorhandener Datenquellen weist einen gangbaren Weg für ein komfortables Datenmanagement,
- die zwangsläufig komplexen und großen LP-Gleichungssysteme werden durch die Entwicklung von sogenannten Matrizengeneratoren technisch beherrschbar,
- durch die Nutzung einer simultanen Optimierungsmethode gelangt man systematisch zu einem Gesamt-Allokations-Optimum,
- Vorbehalte der Anwender über den Nutzen algorithmusgestützter Systeme können durch anschauliche Aufbereitung der Optimalergebnisse und Nachvollziehbarkeit im Detail zerstreut werden und
- letztendlich erscheint die Unterstützung der Betriebsführung durch ein geschlossenes Controlling-System erreichbar.

7 Literatur

Burmeister, Henning (2015): Parzellenspezifische operative Betriebsplanung mit Linearer Programmierung unter besonderer Berücksichtigung von Risikoaspekten. Masterarbeit an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Agrarökonomie

Burmeister, H , S. Garlichs , M. Verhaagh und H.-H. Sundermeier (2016): Schlagspezifische operative Fruchtfolgeplanung mit Linearer Programmierung; in A. Ruckelshausen et. al. (Hrsg.): Intelligente Systeme – Stand der Technik und neue Möglichkeiten, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2016 (im Druck)

Dury, Jérôme; Schaller, Noémie; Garcia, Frédérick; Reynaud, Arnaud; Bergezury, Jacques Eric (2012): Models to support cropping plan and crop rotation - A Review. Agronomy for Sustainable Development, April 2012, Volume 32, Issue 2, pp 567-580.

Garlichs, Soenke (2015): Parzellenspezifische operative Betriebsplanung mit Linearer Programmierung unter besonderer Berücksichtigung von Wirtschaftsdünger aus Veredlungsbetrieben. Masterarbeit an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Agrarökonomie

Kuhlmann, Friedrich (2015).: Landwirtschaftliche Standorttheorie – Landnutzung in Raum und Zeit, DLG-Verlag, Frankfurt

Verhaagh, Mandes (2014): Betriebsplanung mit Linearer Programmierung - Könnte parzellenspezifische Fruchtfolgemodellierung die Akzeptanz in der Praxis verbessern? Bachelorarbeit an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Agrarökonomie

Verhaagh, M.; Sundermeier, H.-H. (2015): Verbesserte Betriebsplanung mit Linearer Programmierung durch parzellenspezifische Fruchtfolgemodellierung und Verknüpfung mit der Finanzbuchführung. In: Arno Ruckelshausen, Hans-Peter Schwarz, Brigitte Theuvsen, (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Referate der 35. GIL-Jahrestagung in Geisenheim; S. 193-196

Verhaagh, Mandes: Parzellenspezifische operative Betriebsplanung mit Linearer Programmierung: Weiterentwicklung und Praxistest. Masterarbeit (in Bearbeitung) an der Christian-Albrechts-Universität, Institut für Agrarökonomie

Einfluss der Melktechnik auf die Eutergesundheit

Angelika Häußermann und Eberhard Hartung

Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik

Einleitung

Eutererkrankungen zählen zu den wichtigsten Ursachen für eine verringerte Nutzungsdauer von Milchkühen. Durch die Infektion mit pathogenen Erregern wird eine Immunreaktion ausgelöst, die je nach Schweregrad der Entzündung zu Veränderung am Eutergewebe, in der Milchzusammensetzung und zu einem Rückgang der Milchleistung führt. Die verringerte Milchleistung erkrankter Tiere und die erhöhten Kosten für Therapie, Remontierung und Arbeitszeit verursachen finanzielle Einbußen von 150-200 Euro je Tier und Erkrankungsfall (DVG 2012). Neben der Fütterung, dem Management und Hygieneroutinen auf dem Betrieb, kann das Auftreten von Eutererkrankungen auch durch den Melkvorgang beeinflusst werden. Hierbei sind drei Bereiche zu unterscheiden:

- Übertragung von Erregern beim Melken oder durch die melkende Person
- Beeinträchtigung der Erregerabwehr der Zitze durch den Melkvorgang
- Erkennung von Veränderung (Euter, Milchzusammensetzung)

Im Folgenden wird vorwiegend auf die ersten beiden Bereiche eingegangen.

Einflüsse auf die Erregerübertragung

Der Entstehung einer Mastitis geht die Kontamination der Zitze mit einem pathogenen Erreger und das Eindringen des Erregers durch den Zitzenkanal voraus. Die Keimübertragung auf die Zitzenhaut findet in der Zwischenmelkzeit und während des Melkvorgangs statt. Keimträger sind verschmutzte und mit erregerhaltigen Milchresten benetzte Oberflächen, wie sie in Zitzengummikopf- und -schaft, an Eutertüchern, an Händen, auf der Standfläche der Tiere sowie in Laufgängen und Liegeboxen zu finden sind. Die Sauberkeit der Oberflächen, insbesondere der Oberflächen, die vor, während und nach dem Milchentzug direkt in Kontakt mit der Zitze stehen, beeinflusst somit das Kontaminationsrisiko für die Zitze. Von Seiten des Melkers reduziert das Tragen von Handschuhen das Anheften von Keimen und somit das Risiko für eine Keimübertrag von

kranken auf gesunde Euterviertel (Riekerink et al., 2008). Dies setzt selbstverständlich eine Reinigung der Handschuhoberflächen nach bzw. vor dem Kontakt mit dem Euter voraus. Standflächen oder Klauen die mit Vorgemelk benetzt wurden, Reinigungstücher, die für mehrere Kühe verwendet werden, eine ungenügende Hygiene bei Oberflächen von automatischen Melksystemen steigern das Risiko für eine Kontamination der Zitze. Bei automatischen Melksystemen sind insbesondere die Vorrichtungen für die Zitzenreinigung auf ihre Keimfreiheit zu prüfen. Bei der Vorbereitung der Zitze hat sich grundsätzlich bewährt, dass zuerst vorgemolken und dann die Zitzen gereinigt werden. Dies hat den Vorteil, dass Keime, die sich bereits im Bereich des Zitzenkanals bzw. im Vorgemelk befinden, nach außen gespült werden und somit nicht durch die Vorbereitung der Zitze tiefer in die Zitzenzisterne und das Drüsengewebe befördert werden.

Sind erkrankte Kühe bekannt, kann der Reinigung und Desinfektion der Hand- und Melkzeug-/Zitzengummioberflächen nach Kontakt mit den betroffenen Eutervierteln besondere Aufmerksamkeit geschenkt und somit der Erregerdruck für die gesunden Kühe reduziert werden. Anders sieht es aus wenn erkrankte Kühe nicht bekannt sind. Dies ist häufig der Fall bei subklinischen Eutererkrankungen, bei denen weder Milch noch Euter sichtbare Anzeichen einer Erkrankungen aufweisen, oder bei automatischen Melksystemen, die mit Hilfe von Sensoren zwar Eutererkrankungen erfassen, deren Sensitivität und Spezifität jedoch zu niedrig ist, um eine zuverlässige Erkennung klinischer Erkrankungen zu gewährleisten (Brandt, 2012). Betriebe mit automatischen Melksystemen sind daher verpflichtet, der Eutergesundheit der Herde und der einzelnen Tiere durch besondere Maßnahmen verstärkt Aufmerksamkeit zu schenken (BMELV, 2012).

Eine sinnvolle Melkreihenfolge beinhaltet, dass gesunde Kühe vor kranken gemolken werden, junge Kühe vor alten, frischmelkende vor altmelkenden und Zellzahl-Millionäre sowie behandelte Kühe zum Schluss (Reinecke, 2015). Bei automatischen Melksystemen sind Tiere mit deutlich erhöhten Zellzahlen bzw. Eutererkrankungen möglichst separat zu melken, d.h. entweder zeitlich oder räumlich getrennt. Die regelmäßige Zwischendesinfektion der Melkzeuge nach jedem Melkvorgang ist immer dann besonders zu empfehlen, wenn die Erkennung von Eutererkrankungen Lücken aufweist und sehr viele Tiere mit demselben Melkzeug gemolken werden. Beides ist bei automatischen Melksystemen grundsätzlich der Fall.

Eine Kontamination der Zitze mit Mastitiserregern kann auch im direkten Zusammenhang mit dem Milchentzug, d.h. durch die Funktion der Melkanlage stattfinden. Während des Melkvorgangs sind für die Übertragung von Keimen

auf gesunde Zitzen in erster Linie zwei Faktoren verantwortlich: der Restkeimgehalt auf den Zitzengummioberflächen und das Umspülen der Zitze mit erregerhaltiger Milch. Die Zitzengummioberfläche wird mit zunehmendem Alter poröser. Keime können sich dann besser anheften und es entstehen Spülschatten. Während des Melkens kann es durch ungünstige Strömungsbedingungen und Lufteinbrüche dazu kommen, dass Milch von einem kranken Viertel eines Tieres auf ein gesundes Viertel übertragen wird. Dieses Risiko kann minimiert werden, indem Lufteinbrüche während des Ansetzens und Melkens möglichst vermieden werden, das Melkzeug und die Milchschläuche so ausgerichtet werden, dass die Zugkräfte gleichmäßig auf die Zitzen wirken, die Belüftungsöffnungen vor Melkbeginn kontrolliert werden und bei Dimensionierung und Design der milchableitenden Wege auf optimale Strömungsbedingungen geachtet wird.

Eine Kontamination der Zitze mit Mastitiserregern lässt sich durch die beschriebenen Maßnahmen zwar minimieren aber nicht komplett ausschließen. Somit ist klar, dass die natürliche Barriere- und Abwehrfunktion der Zitze ein weiteres wichtiges Kriterium für die Gesunderhaltung des Euters darstellt. Diese ist insbesondere in den ersten beiden Stunden nach dem Melkvorgang deutlich beeinträchtigt, bei ungünstigen Melkbedingungen auch deutlich länger. Eine Zitzendesinfektion durch Dippen oder Sprühen nach dem Melken wirkt kurzzeitig gegen Erreger, die sich während des Melkvorgangs an die Zitzenoberfläche angeheftet haben. Durch pflegende Komponenten bleibt die Zitzenhaut glatt und geschmeidig, wodurch insgesamt weniger Keime an der Zitzenoberfläche anhaften können. Darüber hinaus sind die Einstellung und Ausrüstung der Melkanlage so zu wählen, dass sie lokale Barriere- und Abwehrfunktion der Zitze so kurz und so gering wie möglich beeinträchtigt wird.

Beeinträchtigung der lokalen Erregerabwehr der Zitze

Der Zitzenkanal stellt für Infektionserreger eine grundsätzlich schwer zu durchdringende Barriere dar. Die lokale Infektionsabwehr am Zitzenkanal erfolgt durch biologische, chemische und physikalische Wirkungsprinzipien, zu denen unter anderem die Phagozytose im Bereich der Fürstenberg’schen Rosette, der Schließmuskel und die Keratinproduktion des Zitzenkanalepithels zählen. Die Funktion der lokalen Erregerabwehr wird durch den Melkvorgang unterschiedlich stark beeinträchtigt. Sichtbare, messbare oder auch palpatorisch erfassbare Veränderungen an der Zitze sind ein Indikator für eine erhöhtes Infektionsrisiko.

Entscheidend für einen zügigen, schonenden und vollständigen Milchentzug ist das richtige Zusammenspiel zwischen Zitzenform, Zitzengummi, Vakuumhöhe

und Pulsation. Fehlende Stimulation vor Melkbeginn, Blindmelken und falsch positionierte Melkzeuge (verdreht, hängend) beeinflussen das Zusammenspiel zwischen Zitze, Zitzengummi, Vakuumhöhe und Pulsation und sind daher zu vermeiden. Das auf die Zitze wirkende Melkvakuum bewirkt, dass sich der Schließmuskel des Zitzenkanals dehnt und somit Milch ermolken werden kann. Gleichzeitig sammelt sich jedoch auch Blut und Lymphflüssigkeit in den Gefäßen bzw. im Gewebe der Zitze an. Dies führt zu einer, über den Melkvorgang hinaus andauernden Umfangsvermehrung der Zitze im Bereich des Zitzenschafts und der Zitzenkuppe, die mittels Cutimeter oder mit Ultraschallaufnahmen erfasst werden kann (Hamann, 1989; Neijenhuis, 2004; Ambord & Bruckmaier, 2010). Palpatorisch fühlt sich Zitze, insbesondere der Bereich der Zitzenkuppe verhärtet und ödematisiert an. Beträgt die Umfangsvermehrung der Zitzenkuppe mehr als 5 %, deutet dies auf ein erhöhtes Infektionsrisiko hin (Zecconi et al., 1992). Eine während des Melkvorgangs ausreichend massierte Zitze weist nach dem Melkvorgang nur geringe Veränderungen gegenüber dem Zustand vor dem Melken auf. Aufgabe des Zitzengummis ist somit die regelmäßige Massage der Zitzenkuppe, um einer Flüssigkeitsansammlung in der Zitzenkuppe kontinuierlich entgegenzuwirken. Der Verschluss des Zitzenkanals ist durch die Ödematisierung der Zitzenkuppe nach dem Melken verringert, wodurch das Infektionsrisiko für die Zitze in diesem Zeitraum erhöht wird. Je länger der Melkvorgang andauert, je höher das Vakuum in der Saugphase ist und je weniger Druck während der Massagephase auf die Zitze ausgeübt wird, desto ausgeprägter und langfristiger ist die Beeinträchtigung des Zitzenkanalverschlusses und der damit verbundenen mechanischen Barriere für Mastitiserreger.

Dem Massagedruck des Zitzengummis auf die Zitzenkuppe während des Melkens kommt eine besondere Bedeutung zu. Ist er zu niedrig oder zeitlich zu kurz, führt dies zu langsamerem Melken und einem längerfristig und stärker verringerten Verschluss des Zitzenkanals nach dem Melken. Ein sehr hoher und/oder zeitlich ausgedehnter Druck des Zitzengummis auf die Zitzenkuppe verändert dagegen die Keratinbeschaffenheit und die Keratinproduktion im Zitzenkanal. Äußerlich sind bei betroffenen Zitzen unterschiedlich stark ausgeprägte Hyperkeratosen an der Zitzenkuppe erkennbar. Zu den Einflussfaktoren werden die Druckwirkung auf das Zitzenkanalepithel und die durch den Milchfluss verursachten Scherkräfte gezählt (Hamann et al., 1994). Ein hoher Milchfluss bewirkt, dass mehr Keratin aus der Zitze entfernt wird, wodurch die Keratinproduktion zunimmt. Aufgabe des Zitzenkanalkeratins ist es, das Eindringen von Mastitiserregern zu erschweren. Als zweite Barriere nach dem Zitzenkanalverschluss entscheiden Menge, Konsistenz und chemische Zusammensetzung des Keratins über das Risiko, dass Erreger in den Zitzenkanal, die Zitzenzister-

ne und das Eutergewebe gelangen. Ein sichtbarer, glatter Keratinring mit einer Dicke unter 1 mm geht grundsätzlich mit einem verringerten Infektionsrisiko einher (Neijenhuis, 2004). Ausgeprägte Hyperkeratosen mit rauer Oberfläche erleichtern dagegen das Anhaften von Umwelterregern im Bereich des Zitzenkanals (Paduch et al., 2012), was in einem erhöhten Infektionsrisiko zum Ausdruck kommt (Neijenhuis, 2004).

Die Ausprägung von Hyperkeratosen, insbesondere auch die Rauigkeit ihrer Oberfläche, verändert sich nicht nur in Reaktion auf melktechnische Einflüsse, sondern auch in Reaktion auf variierende Umweltbedingungen (Rudovsky et al., 2011). Zu den wichtigsten Einflussfaktoren zählen Witterungsbedingungen und Dippmittel, insbesondere wenn sie einen zu geringen Hautpflegeanteil aufweisen.

Durch die Melkanlageneinstellung bedingten Hyperkeratosen an der Zitzenspitze kann entgegengewirkt werden, indem die Druckmassage auf die Zitze, Blindmelkzeiten und überlange Melkdauern verringert werden. Waren die Hyperkeratosen durch die Melktechnik bedingt, sind positive Veränderungen an der Zitze frühestens nach acht Wochen zu erwarten (Haeussermann et al., 2016). Demgegenüber verändert sich die Ausprägung von Hyperkeratosen weitaus schneller, häufig bereits nach 1-2 Wochen, wenn sie durch Umgebungsfaktoren verursacht waren (Mein et al., 2001).

Dem Zitzengummi kommen, neben der eigentlichen Druckmasse der Zitze, noch weitere Aufgaben zu, die im Zusammenspiel mit der Zitzenmorpholgie zu erfüllen sind. Hierzu gehören die korrekte Eindringtiefe der Zitze und die Erzielung eines möglichst hohen Ausmelkgrades, die Melkzeughaftung und der stetige Kontakt mit der Zitze, unter anderem um die Melkzeughaftung zu unterstützen. Damit die Zitzenkuppe ausreichend massiert werden kann, muss sie ausreichend in den Kollabierbereich des Zitzengummis eindringen. Die Zitzenbasis dagegen soll möglichst lange frei, also außerhalb des Zitzengummis verbleiben, um die Verengung des Übergangs zwischen Euter- und Zitzenzisterne zeitlich zu verzögern und somit einen hohen Ausmelkgrad zu erreichen. Die Eindringtiefe der Zitze wird durch die Elastizität und das Volumen des Zitzengummikopfs, die Flexibilität der Zitzengummilippen und die Form des Zitzengummischaftes beeinflusst. Während früher sehr lange Zitzen mitunter über den Kollabierbereich des Zitzengummis hinausreichten, sind heute eher zu kurze Zitzen vorzufinden. Zu kurze Zitzen haben keinen oder nur wenig Kontakt zum Zitzengummischaft, sind von der Zitzenspitze bis zur Zitzenbasis einem hohen Vakuum ausgesetzt und erfahren keine Druckmassage. Nach dem Melken erscheinen diese Zitzen häufig blau (Rasmussen et al., 1998). Ursache ist ein venöser Blutstau und die somit verminderte Sauerstoffversorgung des Zitzenge-

webes. Da die fehlende Massagewirkung auf die Zitzenkuppe fehlt, ist die Barriere- und Abwehrfunktion des Zitzenkanals beeinträchtigt.

Eine gute Haftung des Melkbechers ist wichtig, um plötzliche Lufteinbrüche in den Melkbecher und die damit verbundene Gefahr der Erregerübertragung zwischen Euterviertel zu verringern. Sie wird durch die Höhe des Vakuums im Zitzengummikopf und durch die Kontaktfläche zwischen Zitze und Zitzengummi beeinflusst. Das Vakuum im Zitzengummikopf sollte dabei jedoch den Bereich von 5-20 kPa weder unter- noch überschreiten, um ein Abfallen der Melkzeuge einerseits und Schwellungen an der Zitzenbasis andererseits zu vermeiden. Beides kann ein erhöhtes Risiko für Neuinfektionen darstellen. Ein zu hohes Vakuum an der Zitzenbasis wirkt sich zudem negativ auf den Ausmelkgrad aus. Bedingt wird die Vakuumhöhe durch die in den Zitzengummikopf ein- und ausströmende Luftmenge und das Volumen des Zitzengummikopfes. Einflussfaktoren sind auch hier die Gestaltung des Zitzengummikopfes und die Schaftform. Rund geformte, enge Schäfte erhöhen den Kontakt zur Zitze und weisen somit eine geringere Vakuumhöhe im Zitzengummikopf auf als Zitzengummis mit weiten, konischen oder winkligen Schaftformen. Melkanlagen, die konstruktionsbedingt mit sehr hohen Vakuumschwankungen arbeiten (z.B. hochverlegte Melkleitung) sowie schwere Melkzeuge erfordern für eine optimale Melkzeughaftung ein höheres Vakuum im Zitzengummikopf, was insgesamt zu einer stärkeren Belastung der Zitzenbasis und zu einer Verschlechterung des Ausmelkgrades führt. Fehlendes Nachmelken wirkt sich dann nicht nur negativ auf die Persistenz der Tiere aus, sondern bietet für Mastitiserreger ein willkommenes Nährsubstrat und zählt somit ebenfalls zu den Risikofaktoren für Euter-erkrankungen (Ebendorff et al., 1986).

Literatur

Ambord, S.; Bruckmaier, R. M. (2010): Milk flow-dependent vacuum loss in high-line milking systems: Effects on milking characteristics and teat tissue condition. In: J. Dairy Sci. 93, S. 3588–3594.

BMELV (2012): Bekanntmachung zur Durchführung von Artikel 3 Absatz 1 in Verbindung mit Anhang III Abschnitt IX Kapitel I der Verordnung (EG) Nr. 853/2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs (ABI. L 226 vom 25.06.2004, S. 22) hinsichtlich der Anwendung bestimmter Maßnahmen in Milcherzeugungsbetrieben mit automatischem Melkverfahren. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. BAnz AT 18.09.2012 B3

Brandt, M. (2012): Evaluation of presently used sensor systems for mastitis detection in automatic milking farms in Schleswig-Holstein. VDI-MEG-Schrift 505. Dissertation Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

DVG (2012): Leitlinien. Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. 5. Auflage. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V. DVG-Fachgruppe Milchhygiene. Arbeitsgruppe Sachverständigenausschuss Subklinische Mastitis. Verlag der DVG Service GmbH.

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.

Haeussermann, A.; Britten, J.; Britten, A.; Pahl, C.; Älveby, N.; Hartung, E. (2016): Effect of a multi-sided concave liner barrel design on thickness and roughness of teat-end hyperkeratosis. Journal of Dairy Research, *in review*

Hamann, J. (1989): Maschineller Milchentzug und Mastitis. Zum Einfluss des maschinellen Milchentzuges auf die Infektionsgefahr für die bovine Milchdrüse. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

Hamann, J.; Burvenich, C.; Mayntz, M.; Osteras, O.; Haider, W. (1994): Machine-induced changes in the status of the bovine teat with respect to the new infection risk. In: Bulletin of the IDF 297, S. 13–22.

Mein, G.A.; Neijenhuis, F.; Morgan, W.F.; Reinemann, D.J.; Hillerton, J.E.; Baines, J.R.; Ohnstad, I.; Rasmussen M.D.; Timms, L.; Britt, J.S.; Farnsworth, R.; Cook, N.; Hemling, T. (2001) Evaluation of bovine teat condition in commercial dairy herds: 1. non-infectious factors. Proceedings 2nd International Symposium on mastitis and milk quality, Vancouver, BC, Canada pp 347-351

Neijenhuis F. (2004) Teat condition in dairy cows. PhD thesis, Utrecht University, The Netherlands.

Paduch, J. H.; Mohr, E.; Krömker, V. (2012): The association between teat end hyperkeratosis and teat canal microbial load in lactating dairy cattle. In: Veterinary Microbiology (158), S. 353–359.

Rasmussen, M. D.; Frimer, E. S.; Kaartinen, L.; Jensen, N. E. (1998): Milking performance and udder health of cows milked with two different liners. Journal of Dairy Research 65, 353–363.

Reinecke, F. (2015): Chancen und Risiken der Nutzung automatischer und konventioneller Melksysteme für die Eutergesundheit. Vortrag anlässlich der „Fachtagung Landwirtschaftliche Nutztierhaltung 2030“, Landwirtschaftliches Bildungszentrum Echem, 3. September 2015.

Riekerink, R.G.M., Sampimon, O.C., Eerland, V.J., Swarts, M.J., Lam, T.J.G.M. (2008): Comparing bacterial counts on bare hands with gloved hands during milking. In (Lam, T.J.G.M.): Mastitis control: from science to practice, S. 77-82, Wagenening Academic Publischers, Wageningen, The Netherlands.

Rudovsky, H.-J.; S. Pache; J. Schulz (2011): Hyperkeratosen – Wo liegen die Ursachen? ART-Schriftenreihe 15, Tagungsband der 3. Tänikoner Melktechnik-tagung - Optimierte Milchgewinnung. Forschungsanstalt Agroscope-Reckenholz-Tänikon, Schweiz.

Zecconi, A.; Hamann, J.; Bronzo, V.; Ruffo, G. (1992): Machine-induced teat tissue reactions and infection risk in a dairy herd free from contagious mastitis pathogens. Journal of Dairy Research 59 (3), S. 265–271.

Ansätze zur züchterischen Reduzierung der Methan-Emissionen

Georg Thaller

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

Die Landwirtschaft innerhalb von Deutschland stellt mit rund 53 % die größte Emissionsquelle für CH4 dar (Umweltbundesamt, 2013). Als Hauptverursacher für die Methanemissionen gilt die Tierhaltung und hier insbesondere die Milch- und Rindfleischproduktion. Im Pansen von Wiederkäuern entstehen durch anaerobe mikrobielle Prozesse täglich mehrere 100 Liter des Treibhausgases CH4. Für eine möglichst umweltverträgliche und zudem effiziente Produktion von Milch und Fleisch sind neue Strategien zur Minderung der Methanbildung dringend erforderlich.
An Strategien zur Reduzierung der Methanemissionen über die Rationsgestaltung (z.B. mehr Kraftfutter) oder mit Hilfe spezieller Futterzusatzstoffe wurde in der Vergangenheit bereits intensiv gearbeitet. Die Möglichkeiten sind jedoch begrenzt, da die Ration stets auch wiederkäuergerecht gestaltet sein muss.
Die Bewertung von Kühen hinsichtlich ihres individuellen Beitrags zu unmittelbar klimarelevanten Kenngrößen erfordert zur Zeit noch sehr aufwändige und kostenintensive Gas-Stoffwechsel-Messungen, die nur an wenigen Tieren unter standardisierten Bedingungen in Respirationskammern durchgeführt werden können.
Auf nationaler und internationaler Ebene wird intensiv an der Entwicklung neuer Strategien zur Minderung der Methanemissionen aus der Rinderhaltung gearbeitet. Nachfolgend eine Auswahl dieser Strategien:

Kuhkot als Informationsquelle

Das in der Zellmembran nachweisbare Lipid Archaeol könnte als Biomarker für die Methanogenese Anwendung finden. Ein Projekt der CAU soll erste Hinweise liefern, ob und wie stark die Archaeolkonzentration im Kot erblich bedingt ist.
Am Institut für Tierzucht und Tierhaltung ist 2013 das Forschungsprojekt MethanA (Akronym für „Quantifizierung der Methanemission bei Rindern mithilfe des fäkalen Biomarkers Archaeol“) angelaufen. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Ernährungsphysiologie „Oskar Kellner“ des Leibniz-Institutes für Nutztierbiologie (FBN Dummerstorf) und dem Kompetenzzentrum Milch – Schleswig-Holstein (KMSH) soll überprüft werden, ob der postulierte Zusam-

menhang zwischen Methanproduktion und fäkalem Archaeolgehalt bestätigt werden kann und ob der fäkale Archaeolgehalt sich als Hilfsmerkmal für die züchterische Reduktion der Methanemissionen eignet. Dies soll anhand eines größeren Datensatzes und mit verbesserter Messmethodik nachgewiesen werden. Hierfür kann auf Daten von Respirationskammerversuchen am FBN Dummerstorf zurückgegriffen werden, bei denen parallel zur Messung der Methanemissionen auch eine wiederholte Kotprobennahme stattgefunden hat. Die gesammelten Kotproben werden aktuell auf ihren Archaeolgehalt hin untersucht. Außerdem werden seit nunmehr zwei Jahren in größerem Umfang Kotproben von Tieren der Karkendamm-Herde gesammelt, die ebenfalls auf Archaeol hin analysiert werden. Zusammen mit den Projektpartnern wird untersucht, ob die Ausscheidung von Archaeol im Verlauf der Laktation sowie in der vor- und nachgelagerten Trockenstehphase großen Schwankungen unterworfen ist und wodurch diese ggf. bedingt sind. Aufgrund der wiederholten Beprobung ist es möglich, Wiederholbarkeiten für die tierindividuelle Archaeolausscheidung unter Praxisbedingungen im Liegeboxen-Laufstall zu schätzen. Das Projekt soll so erste Hinweise liefern, ob und wie stark die Archaeolkonzentration im Kot erblich bedingt ist. Darüber hinaus sollen die Beziehungen zu wichtigen Produktionsmerkmalen (wie z.B. Milchleistung) betrachtet werden.
Im Versuch sind eine stärkereiche und eine faserreiche Ration verfüttert worden. In Tabelle 1 wird der Unterschied dieser zwei Rationsausrichtungen in Bezug auf die damit verbundene Methanproduktion der Tiere aufgezeigt. Während der Futteraufnahme der faserreichen Ration ist im Gegensatz zur stärkereichen Ration eine deutlich höhere Menge an Methan produziert worden.

Merkmal	Laktationsphase/Ration Tag 100 p.p. (±3) Stärkereich ▲	 Tag 135 p.p. (±3) Faserreich ■	p-Wert
TM-Aufnahme (kg)	16,32	14,84	0,3121
Milchmenge (kg)	30,80	25,00	0,0198
Energiekorrigierte Milchmenge (ECM; kg)	34,37	27,59	0,0106
Archaeolgehalt im Kot (µg/g Kot-TM)	37,12	47,64	0,0017
Methanproduktion (l)	520,43	559,29	0,4015
Methanproduktion/TM-Aufnahme (l/kg)	33,23	36,92	0,0726
Methanproduktion/Milchleistung (l/kg)	17,19	22,43	0,0193
Methanproduktion/ECM (l/kg)	15,83	20,47	0,0794

Tab. 1: *LSQ-Mittelwerte ausgewählter Merkmale für den fixen Effekt der Laktationsphase / Ration*

Die ersten Daten aus diesem Versuch bestätigen den positiven Zusammenhang zwischen Methanproduktion und fäkalem Archaeolgehalt (Abb. 1).

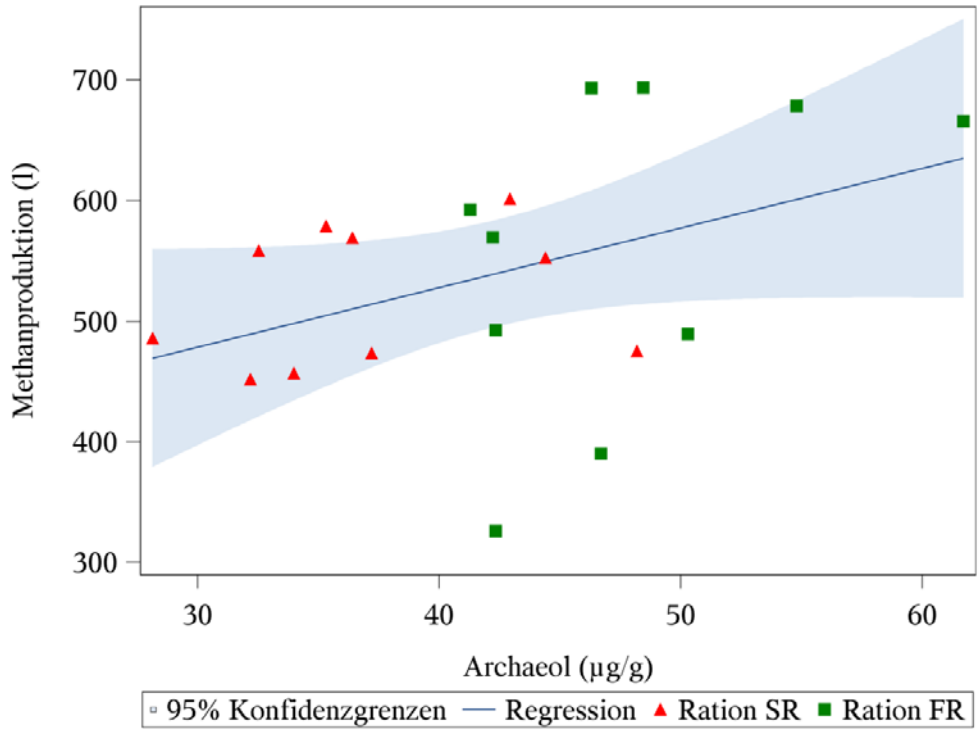


Abb. 1: *Regression der Methanproduktion (in l, l/kg TM-Aufnahme, l/kg Milch und l/kg ECM) auf den Archaeolgehalt im Kot (in µg/g) bei Verfütterung einer stärkereichen (SR,▲) bzw. faserreichen (FR,■) Ration.*

Milchmetabolitendaten

Auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm werden aktuell parallel zu den Beprobungen im Rahmen von MethanA in Zusammenarbeit mit Partnern der Universität Regensburg (Prof. Dr. W. Gronwald, Institut für Funktionelle Genomik) im Projekt Klima-Milch – Schleswig-Holstein mittels NMR-Spektroskopie Milchmetaboliten bestimmt. Ziel ist es, den fäkalen Archaeolgehalt und die Milchmetabolitendaten zueinander in Beziehung zu setzen. Im Idealfall wird ein Biomarker in der Milch gefunden, der mit dem fäkalen Archaeolgehalt korreliert bzw. mit der Methanogenese in Zusammenhang steht und alternativ genutzt werden könnte, um auf einfacherem und ggf. auch kostengünstigerem Weg eine Zucht auf Kühe, die wenig CH4 emittieren, zu forcieren.

Metagenomik des Pansens

Es ist kaum untersucht, wie stark der Einfluss des Genotyps einer Kuh auf die ruminale Mikroflora ist und ob eine Selektion auf wünschenswerte Verhältnisse und Mikroorganismen im Pansen möglich wäre.

Mit Hilfe der sog. metagenomischen Analysen von Pansensaftproben können die DNA-Sequenzen von Pansenmikroben festgestellt werden. Ziel solcher Studien ist es, die kommensale Population zu charakterisieren, d.h. die Artenzahl und Häufigkeit von verschiedenen Mikroorganismen im Pansen (im Speziellen Bakterien, Archaeen, Phagen und Protozoen) zu untersuchen. Die Effizienz der Futterverwertung und Bildung von CH4 hängt entscheidend von der Beschaffenheit der Mikroflora im Pansen ab (GUAN et al., 2008). Die Mikroflora wiederum ist – wie oben bereits erwähnt – wirtsabhängig. Kaum untersucht aber ist, wie stark der Einfluss des Genotyps einer Kuh auf die ruminale Mikroflora ist und ob eine Selektion auf wünschenswerte Verhältnisse und Mikroorganismen im Pansen möglich wäre. Hier eröffnet sich aus unserer Sicht ein weiteres vielversprechendes Forschungsfeld.

Fazit

Gerade für komplexe und schwer erfassbare Merkmale stellt die genomische Selektion ein interessantes Zuchtwerkzeug dar. Ob eine genomische Selektion auf geringere Methanemissionen in den nächsten Jahren implementiert werden kann, ist derzeit aber noch ungewiss.

Es ist zu erwarten, dass eine Aufnahme des Zuchtziels „geringere Methanemissionen“ in die nationalen Zuchtprogramme innerhalb eines akzeptablen Zeitraums nur in Verbindung mit einer länderübergreifenden Zusammenarbeit gut gelingen kann. Ein Problem wie die Reduzierung klimaschädlicher Emissionen lässt sich nur global lösen.

Laut Schätzungen von DE HAAS et al. (2011) ließen sich die Methanemissionen mit Hilfe von Zuchtmaßnahmen theoretisch um 11 bis 26 % innerhalb von 10 Jahren reduzieren. Mit Hilfe eines genomischen Zuchtprogrammes seien noch schnellere Zuchterfolge denkbar.

Literatur

DE HAAS, Y., WINDIG, J. J., CALUS, M. P. L., DIJKSTRA, J., DE HAAN, M., BANNINK, A. und VEERKAMP, R. (2011): Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. J. Dairy Sci. 94, 6122-6134.

GUAN, L. L., NKRUMAH, J. D., BASARAB, J. A. und MOORE, S. S. (2008): Linkage of microbial ecology to phenotype: correlation of rumen microbial ecology to cattle's feed efficiency. FEMS Microbiol. Lett. 288, 85-91.

Energie- und Proteinversorgung der laktierenden Zuchtsau mit großen Würfen[8]

Andreas Susenbeth

Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie

Einleitung

Die Reproduktionsleistung von Sauen hat im Verlauf der letzten zehn Jahre stark zugenommen hat. In erfolgreichen Praxisbetrieben setzen Sauen durchschnittlich 12,5 Ferkel pro Wurf und über 30 Ferkel pro Jahr ab (Schnippe und Niggemeyer, 2014). Es ist zu anzunehmen, dass ein nicht unerheblicher Anteil der Tiere auch 13-15 Ferkel pro Wurf absetzt. Diese Leistungssteigerung beruht zum Überwiegenden auf der steigenden Anzahl geborener Ferkel pro Wurf und nur zu einem geringen Teil auf der Reduktion der Ferkelverluste und der Erhöhung der Anzahl der Würfe pro Jahr (Sührk und Hatzakis, 2015). Ein solch hoher Zuwachs des Wurfs wird jedoch nur erreicht, wenn Sauen eine Milchleistung von 14-15 kg pro Tag erbringen. Dies ist ein Leistungsniveau des 4,5-fachen Erhaltungsbedarfs und entspricht dem einer Hochleistungskuh.

Die Grundlage zur Ableitung von Empfehlungen zur Versorgung an Energie und Aminosäuren

Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie hat im Jahr 2006 Empfehlungen zur Versorgung mit Energie und Nährstoffen von Zuchtsauen herausgegeben (GfE, 2006). Die dort gemachten Angaben für Wurfzuwächse bis 3,0 kg pro Tag decken jedoch auch den noch heute relevanten Leistungsbereich ab. Es ergibt sich zunächst die Notwendigkeit, die entsprechenden Tabellen für höhere Leistungen zu ergänzen, in denen auch Versorgungsempfehlungen für sehr hohe Wurfzuwächse von 3,5 kg pro Tag angegeben werden.

Die für die Wissenschaft größere Herausforderung als die Erweiterung der bestehenden Tabellen besteht jedoch in der Frage, ob die bei deutlich niedrigeren Leistungen gemessenen Werte zum Erhaltungsumsatz (ME_m) und zur Effizienz der Verwertung der Umsetzbaren Energie (k_l) und der Aminosäuren (z.B. k_{Lys}) für die Milchproduktion, die den Empfehlungen der GfE (2006) zugrunde lie-

[8] Dieser hier geringfügig geänderte Beitrag erschien 2015 im Tagungsband der 53. Tagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung (BAT) e.V., Freising.

gen, auch für Tiere mit deutlich höherer Leistung noch zutreffend sind. Diese Frage kann hier nicht erörtert werden, es wird auf die Ausführungen von Susenbeth (2015) verwiesen. Wir können danach davon ausgehen, dass die Grunddaten zur Ableitung der Empfehlungen zur Versorgung von Energie und Nährstoffen (GfE, 2006) auch für Tiere mit hohen Leistungen als zutreffend anzusehen sind. In einem neueren Modell zur Versorgung und zum Bedarf von Sauen (Dourmad et al., 2008), das auf einer umfassenden Auswertung vorliegender Experimente beruht, wird ebenfalls unverändert von den bisher bekannten Werten ausgegangen: ME_m = 0,46 (0,44) MJ ME/kg $BW^{0,75}$; k_l = 0,72 (0,70); k_{rl} = 0,87 (0,89), wobei k_{rl} die energetische Verwertung der mobilisierten Energie zu Milchenergie bedeutet und in Klammern die von der GfE (2006) verwendeten Werte angegeben sind.

Daraus kann eine wichtige Schlussfolgerung gezogen werden: Die Effizienz der Verwertung der Energie und Aminosäuren ist durch den Züchtungsfortschritt nicht verändert worden, wie dies auch beim wachsenden Schwein nachgewiesen wurde (z.B. bei Susenbeth et al. (1999) für die Lysinverwertung). Daher können die von der GfE (2006) auf dieser Basis erstellten Tabellen, die die Empfehlungen zur Versorgung mit Energie und Aminosäuren beinhalten, für höhere Leistungen leicht erweitert werden. Lediglich beim Erhaltungsbedarf an Aminosäuren könnte eine Anpassung angezeigt sein, da die Bedarfsangabe auf die Körpergröße bezogen ist. Denn die endogenen Verluste hängen von der Höhe der Futteraufnahme und sicherlich auch vom Fasergehalt der Ration ab, die den größten Anteil des Erhaltungsbedarf verursachen, so dass dieser bei hohen Futteraufnahmen und bei üblichen Gehalten an Faser deutlich höher liegen dürfte, wie dies auch neuere Studien am wachsenden Schwein nahelegen (Blank et al., 2012). Eine folgerichtige Erhöhung beispielsweise des Lysinerhaltungsbedarfs von 38 (GfE, 2006) auf 71 mg/kg $BW^{0,75}$ (Ringel und Susenbeth, 2009) würde den Gesamtbedarf von pcv Lysin für ein Tier mit einem Wurfzuwachs von 3,0 kg/d von 56,2 g (GfE, 2006; Tab. 4.18) jedoch nur um ca. 2 g erhöhen.

Die Bedeutung der Kenntnis der Futteraufnahme für die Rationsgestaltung und die erforderlichen Gehalte an Protein und Aminosäuren

Die Ableitung des Protein- und Aminosäurenbedarfs aus der Leistung ist mit hoher Genauigkeit möglich, da die oben erwähnten Unsicherheiten beim Erhaltungsbedarf aufgrund ihres geringen Anteils kaum ins Gewicht fallen. Da die praktische Umsetzung der Versorgungsempfehlungen bei der Rationsgestaltung oder Mischfutterherstellung durch das Erreichen bestimmter Konzentrationen an Protein und Aminosäuren sichergestellt werden muss, ist die Kenntnis des Futteraufnahmevermögens hierfür eine zentrale Voraussetzung. Diese ist individuell sehr verschieden und von der Leistung, aber auch von der Haltung und

Klima, Fütterungstechnik und Hygiene abhängig. Die Futteraufnahme reicht jedoch häufig nicht aus, den Energiebedarf auch bei einer energiereichen Ration zu decken, was zu einem Gewichtsverlust während der Laktation führt. Ein Gewichtsverlust bis zu 20 kg wird noch als unproblematisch angesehen, wenn die Tiere ausreichende Fettreserven aufweisen.

Eine Ration, die für eine bedarfsdeckende Situation konzipiert ist, jedoch nicht in ausreichender Menge aufgenommen wird, wird auch den Bedarf an Protein und Aminosäuren nicht vollständig decken. Die Folge ist – neben einer energetischen Unterversorgung - auch eine Unterversorgung an Protein und Aminosäuren bzw. an Mineralstoffen und Vitaminen. Da entsprechende Körperproteinreserven nicht existieren und die Milch in ihrem Proteingehalt relativ konstant ist und in ihrer Zusammensetzung durch eine Unterversorgung kaum verändert wird, kommt es zu einem Abbau von Protein aus verschiedenen Körpergeweben. Dieser Körperproteinabbau wird als Hauptursache für Fruchtbarkeitsprobleme, insbesondere für einen verzögerten Eintritt der Rausche, angesehen (King, 1987; Quesnel et al, 2005). Dagegen ist ein erheblicher Körperfettabbau, wenn ausreichend Fettreserven vorhanden sind, in dieser Hinsicht offenbar von geringer Bedeutung. Bei einer Milchleistung von 14 kg/d, einer mittleren Futteraufnahme von 7 kg und einem Proteingehalt der Ration von 17 % (bei 5 % Lysin im Protein) kann man davon ausgehen, dass über 1000 g Körperprotein innerhalb von 3 Wochen abgebaut werden.

Anders als bei der Energieaufnahme kann unabhängig von der Futteraufnahme eine bedarfsgerechte Versorgung mit Protein und Aminosäuren erreicht werden, indem die Gehalte entsprechend angepasst werden. Bei einer mittleren Milchleistung von 12 bzw. 14 kg/d, was einem Wurfzuwachs von 2,9 bzw. 3,4 kg/d entspricht, müsste für eine bedarfsgerechte Versorgung bei einer durchschnittlichen Futteraufnahme von 7,0 kg der Proteingehalt der Ration 19,5 bzw. 23,5 % betragen (bei einem Lysingehalt im Protein von 5,5 %). Wird die Proteinqualität durch Zulagen von freien Aminosäuren verbessert, ist der erforderliche Proteingehalt entsprechend verringert. Allerdings ist der Möglichkeit zur Proteinreduktion und damit zur Verringerung der N-Ausscheidung eine enge Grenze gesetzt, da allein die große Milchproteinmenge auch eine hohe Zufuhr an Protein erforderlich macht. Detaillierte Berechnungen für andere Leistungen, Proteinqualitäten und Futteraufnahmen, die für den Einzelbetrieb angezeigt sein können, sind leicht mit Hilfe der von der GfE (2006) angegebenen Grunddaten zum Bedarf durchführbar.

Da die Tiere eines Bestandes nicht alle gleichermaßen von einer energetischen Unterversorgung betroffen sind, die durch die begrenzte Futteraufnahme und die Höhe der Leistung bestimmt wird, sollten Fütterungsstrategien entwickelt

werden, die gezielt eine Unterversorgung mit Protein und Aminosäuren verhindern. Entsprechendes trifft auch für die Mineralstoff- und Vitaminversorgung zu. Dies könnte durch eine Ergänzung mit einem proteinreichen Futter oder durch proteinreichere Alleinfutter geschehen, die nur den betroffenen Tieren angeboten werden. Eine pauschale Erhöhung der Gehalte für alle Tiere wird aus ökonomischen und umweltrelevanten Gründen nicht sinnvoll sein. Neben dem Bemühen um die Realisierung einer hohen Futteraufnahme sollte daher dem Aspekt der bedarfsdeckenden Protein- und Aminosäurenversorgung bei variabler Futteraufnahme eine größere Bedeutung beigemessen werden. Die Brisanz dieser Problematik wird noch durch Druck verschärft, aus umweltrechtlichen Aspekten den Proteingehalt auch bei laktierenden Sauen abzusenken.

Zitierte Literatur

Blank, B., Schlecht, E., Susenbeth, A., 2012. Effect of dietary fibre on nitrogen retention and fibre associated threonine losses in growing pigs. Archives of Animal Nutrition 66, 86-101.

Dourmad, Y.I., Etienne, M., Valancogne, A., Dubois, S., van Milgen, J., Noblet, J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. Animal Feed Science and Technology 143, 372–386.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2006. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

King, R.H., 1987. Nutritional anoestrus in youngs sows. Pig News and Information 8, 15-22.

Quesnel, H., Mejia-Guadarrame C.A. Pasquier, A., Dourmand, J.Y., Prunier, A., 2005. Dietary protein restriction during lactation in primiparous sows with different live weights at farrowing: II. Consequences on reproductive performance and interactions with metabolic status. Reproduction Nutrition Development 45, 57-68.

Ringel, J., Susenbeth, A., 2009. Lysine requirement for maintenance in growing pigs. Livestock Science 120, 144-150.

Schnippe, F., Niggemeyer, H., 2014. Wir brauchen große Würfe. Schweinezucht und Schweinemast 5/14, 10-14.

Sührk, J.H., Hatzakis, K., 2015. Erfolgsgeschichte in schwierigem Marktumfeld. Bauernblatt Schleswig-Holstein 69, 41-44.

Susenbeth, A., Dickel, T., Diekenhorst, A., Höhler, D., 1999. The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. Journal of Animal Science 77, 2985-2989.

Susenbeth, A., 2015. Zur Energie- und Proteinversorgung der laktierenden Zuchtsau. Proceedings of the Society Nutrition Physiology 24, 187-189.

Indikatoren zur Bewertung der Tiergerechtheit für die betriebliche Eigenkontrolle beim Schwein

Irena Czycholl und Joachim Krieter

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

Einleitung

Seit Anfang des Jahres 2014 ist im Deutschen Tierschutzgesetz für die Halter landwirtschaftlicher Nutztiere eine betriebliche Eigenkontrolle anhand tiergestützter Indikatoren vorgeschrieben, um sicherzustellen, dass die Anforderungen nach §2 erfüllt sind (§11, Abs.8).

Die konkrete Forderung nach tiergestützten Indikatoren ist sinnvoll, da inzwischen breiter Konsens darin besteht, dass nur tiergestützte Indikatoren den realen Zustand beurteilen können, wohingegen management- und ressourcengestützte Indikatoren eher eine Risiko- und Potentialbewertung darstellen (Rousing et al., 2001). Jedoch stellen tiergestützte Indikatoren auch die größte Herausforderung bezüglich einer validen, reliablen und praktikablen Erfassung dar.

Problematisch in Bezug auf die betriebliche Eigenkontrolle anhand tiergestützter Indikatoren ist jedoch, dass konkrete Empfehlungen, welche tiergestützten Indikatoren von den Landwirten genutzt werden können, bislang fehlen. Derzeit wird diese gesetzliche Anordnung größtenteils ignoriert beziehungsweise es wird sich auf die vom Schlachthof rückgemeldeten Gesundheitsdaten (Pleuritis, Pneumonie, Milkspots, Pericarditis, Ascitis) bezogen. Diese sind nicht alleinig geeignet, die Anforderungen des Gesetzes zu erfüllen, denn mithilfe der Schlachtbefunde ist es nicht möglich zu beurteilen, ob das Tier zu Lebzeiten verhaltensgerecht ernährt, gepflegt und untergebracht war und ob die Möglichkeiten zu artgemäßer Bewegung so stark eingeschränkt waren, dass Schmerzen, Leiden oder Schäden resultierten (Deutsches Tierschutzgesetz, §2 Abs. 1 und 2). Um dies zu beurteilen, ist eine umfassende Beurteilung des Tierwohls notwendig.

Tierwohl in seiner Gesamtheit umfasst nicht nur die physiologische Funktionalität (Gesundheit und Leistung) sondern auch einen positiven Gemütszustand, sowie die Möglichkeit, artgerechtes Verhalten auszuleben (Fraser, 2008). Tierwohl objektiv zu messen ist in den letzten Jahren ein wichtiges Ziel der Nutztierwissenschaften geworden. Das Welfare Quality® Projekt stellt dabei den umfassendsten Ansatz dar, da es alle Aspekte des Tierwohls umfasst und den Fo-

kus auf tiergestützte Indikatoren richtet, dabei aber auch die Praktikabilität berücksichtigt (Blokhuis et al., 2013).

Ziele

Im vorliegenden Beitrag soll das Konzept der Erfassung von Tierwohl mit Hilfe der Welfare Quality® Protokolle vorgestellt werden. Die einzelnen enthaltenen tiergestützten Indikatoren werden hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit und Praktikabilität überprüft. Teilweise erfolgen Ergänzungen, sodass schließlich eine Liste geeigneter tiergestützter Indikatoren für die betriebliche Eigenkontrolle von Mastbetrieben erstellt wird.

Prinzip der Animal Welfare Assessment Protokolle

In den Welfare Quality® Protokollen wurde Tierwohl als Gesamtkonzept bestehend aus guter Fütterung, guter Haltung, guter Gesundheit sowie artgemäßem Verhalten definiert. Nachfolgend gibt es 12 Subkriterien, die wiederum mit Hilfe von 32 im Stall zu erhebenden Indikatoren gemessen werden. Wann immer möglich, werden für die Erhebung der Indikatoren tiergestützte Kriterien herangezogen, um das Hauptaugenmerk auf das Tier als Individuum zu legen. Ergänzt wird dies durch management- und ressourcenbezogene Parameter. Eine Übersicht über das Welfare Quality® Konzept gibt Abbildung 1. Es wird klar, dass sowohl die Tierwohldefinition nach Fraser (2008) als auch die Definition nach den fünf Freiheiten (FAWC, 1979) eingehalten wird. Die Indikatoren werden im Stall erfasst und in der Regel der Prozentanteil betroffener Tiere ermittelt.

Für jedes der Sub- und Hauptkriterien wird ein Wert zwischen 0 und 100 durch mathematische Verfahren ermittelt und so die Betriebe in „excellent“, „enhanced“, „good“ oder „not classified“ kategorisiert (Welfare Quality®, 2009). Dabei ist eine Kompensation zwischen den einzelnen Kriterien ausgeschlossen.

Vorgehensweise beim Welfare Quality® Protokoll für Mastschweine

Die Erhebung des Welfare Quality® Protokolls beginnt auf dem Betrieb mit einem Interview des Betriebsleiters, wobei grundsätzliche Informationen zum Stallaufbau und Managementprozeduren erfragt werden. Im Stall wird zunächst eine Qualitative Verhaltensbeurteilung (QBA) durchgeführt. Hierzu wird an 4-6 Orten im Betrieb eine jeweils gut überschaubare Zahl von Tieren über einen Zeitraum von insgesamt 20 Minuten frei beobachtet. Im Anschluss wird auf einer Skala von 125mm die An- oder Abwesenheit von 20 vorgegebenen subjektiven Adjektiven wie „aktiv“, „ruhig“ oder „glücklich“ notiert. Danach erfolgt an insgesamt drei Tiergruppen von je 40-60 Tieren eine direkte Verhaltensbeobachtung mit Hilfe von Momentaufnahmen. Dabei werden alle Tiere der Gruppe insgesamt fünf Mal im Abstand von je zwei Minuten in eine der folgenden Verhaltensweisen eingestuft, je nachdem, was sie zum genauen Zeitpunkt

des Beobachtens gerade machen: „Ruhen“, „Erkundung der Bucht“, „Beschäftigung mit Beschäftigungsmaterial“,

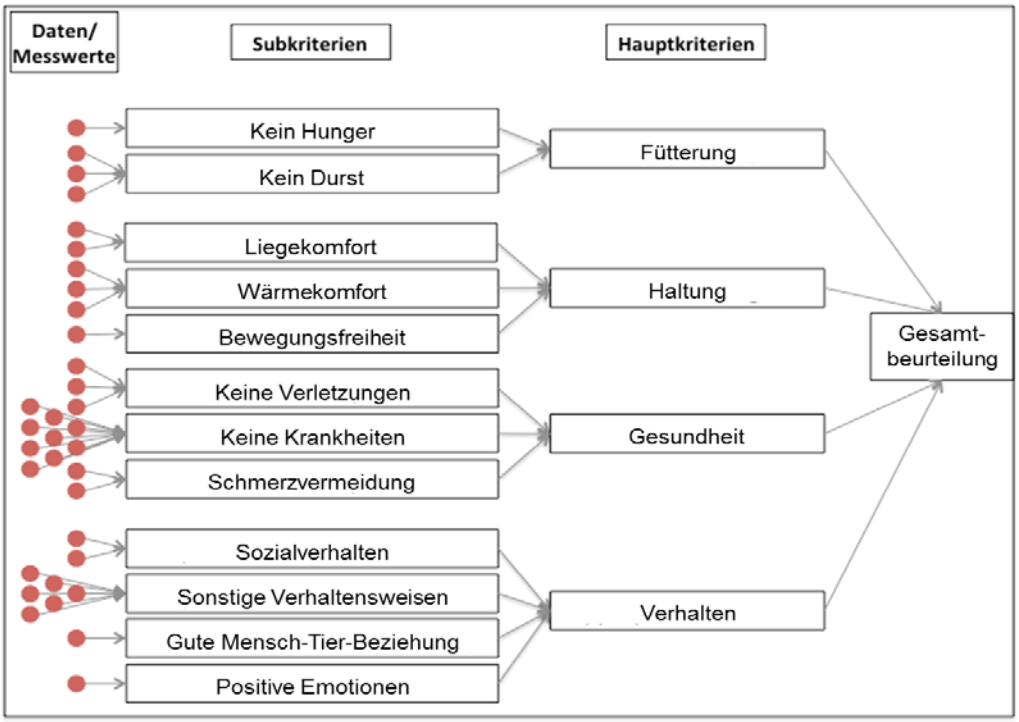


Abb. 1 „Welfare Quality“® Konzept

„Positives Sozialverhalten“, „Negatives Sozialverhalten“ oder „Sonstiges“. Zuletzt werden insgesamt 10 Buchten betreten und die Reaktion der Schweine auf den Menschen mittels Mensch-Tier-Beziehungstests beurteilt. Maximal 15 der Tiere in der Bucht werden anschließend auf bestimmte Einzeltierparameter untersucht, wie z.B. Wunden und Verschmutzung am Körper, Lahmheit, Bursitis, Hautzustand, Schwanzbeißen und Rektalprolaps. Bei diesen Parametern betrachtet man jeweils eine Seite des Schweines und teilt es entweder einem zweistufigen Score (an- oder abwesend) oder einem dreistufigen Score (abwesend, leicht vorhanden, schwer vorhanden) entsprechend ein. Außerdem wird in der Bucht noch auf das Vorhandensein von flüssigem Kot als Anzeichen für Durchfall sowie auf die Sauberkeit und Funktion der Tränken geachtet. Die Maße der Buchten werden ebenfalls notiert, um den verfügbaren Platz pro Tier zu ermitteln.

Die im Protokoll enthaltenen tiergestützten Indikatoren wurden in der vorliegenden Studie hinsichtlich ihrer Interobserver- und Retest-Reliabilität untersucht. Zudem wurde nach insgesamt 167 Protokolldurchführungen die Praktikabilität der Indikatoren beurteilt.

Um die Interobserver-Reliabilität zu untersuchen, wurden 29 Protokollerhebungen gemeinsam von zwei Beobachtern, die zuvor in der Erhebung des Welfare Quality® Protokolls geschult wurden, gemeinsam besucht. Das Proto-

koll wurde bei diesen Besuchen zur gleichen Zeit, aber vollkommen unabhängig voneinander an denselben Tieren durchgeführt.
Zur Beurteilung der Retest-Reliabilität wurde das Protokoll auf 23 Mastbetrieben in Schleswig Holstein und Niedersachsen über den Zeitraum von jeweils zwei Mastdurchgängen pro Betrieb insgesamt sechsmal erhoben. Die erste Erhebung erfolgte zwei Wochen nach Einstallung bei einem Gewicht von ca. 40kg, die zweite Erhebung etwa zur Mitte der Mastperiode bei einem Gewicht von ca. 70-80kg und die letzte Erhebung kurz vor Beginn der Ausstallung, bei einem Gewicht von ca. 100kg.

Statistische Auswertung

Für die Auswertung wurden als Übereinstimmungsmaße der Smallest Detectable Change (SDC) und der Limits of Agreement (LoA) berechnet.
Beim SDC werden die Standardabweichungen zwischen den Beobachtern verglichen. Bei guter Übereinstimmung und somit geringer Standardabweichung sollten die Werte bei 0 liegen. Dieser Parameter gibt Auskunft über den kleinsten messbaren Unterschied. Wenn der SDC also z.B. 0,04, also 4% ist, so bedeutet das, dass die Beobachter innerhalb einer Spannweite von 4% übereinstimmen bzw. dass Betriebe sicher voneinander differenziert werden können, wenn sich die Häufigkeit des Auftretens des betreffenden Parameters um 4% unterscheidet. Auch der LoA wird letztlich aus den Standardabweichungen der beiden Beobachter berechnet und sollte möglichst klein sein. Er gibt das Vertrauensintervall an, in dem 95% der Messungen liegen sollten. In Anlehnung an das einfache Übereinstimmungsmaß (de Vet et al., 2006) wird in der vorliegenden Studie beim SDC sowie LoA ein Wert bis 0,1, was einer Differenz zwischen den Beobachtern von 10% entspricht, als gut angesehen.

Ergebnisse und Diskussion

Im QBA nahmen der SDC und LoA Werte um 0,25 an (Tab. 1), was
bedeutet, dass eine Übereinstimmung lediglich im Schwankungsbereich von 25% vorliegt. Dieser Parameter ist somit unzuverlässig und ungeeignet als Indikator für die Erfassung positiver Emotionen.

Tab. 1: Beobachtervergleich: Mittlere Skalenwerte [mm] (Standardabweichung) einiger Adjektive der Qualitativen Verhaltensbeurteilung (QBA) über die Betriebsbesuche sowie Smallest Detectable Change (SDC) und Limits of Agreement (LoA).

	Beobachter1	Beobachter2	SDC	LoA
aktiv	68 (12)	92 (18)	0.30	-0.10 – 0.47
ängstlich	4 (2)	15 (14)	0.25	-0.13 – 0.32
aufgeregt	18 (15)	36 (31)	0.34	-0.25 – 0.55

Die Verhaltensbeobachtungen mittels Instantaneous Scan Sampling hingegen zeigten generell eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 2).

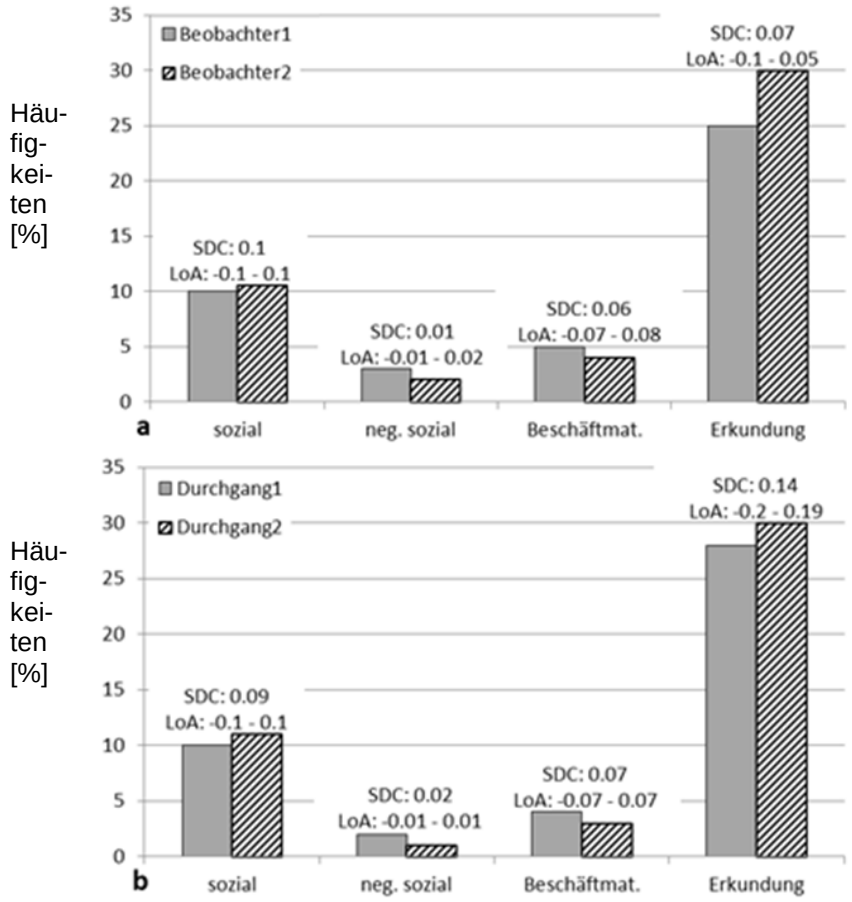


Abb. 2: Häufigkeit des Auftretens der Verhaltensweisen sowie Darstellung Smallest Detectable Change (SDC) und Limits of Agreement (LoA) für die direkte Verhaltensbeobachtung als Mittelwerte [%] aus den Betriebsbesuchen für Beobachter 1 und 2 (a) bzw. für die erste Erhebung aus Mastperiode 1 und 2 (b).

Lediglich die Einteilung in die Verhaltenskategorie „Erkundung der Bucht“ zeigte etwas größere Schwankungen, die sich dadurch begründen lassen, dass die Unterscheidung zwischen „Erkundung der Bucht“ und „Sonstiges aktives Verhalten“ schwer zu unterscheiden ist.

Der Mensch-Tier-Beziehungstest zeigte weder eine ausreichende Interobserver- (SDC: 0.34; LoA: -0.22-0.21) noch eine ausreichende Retest-Reliabilität (SDC: 0.50; LoA: -0.54-0.48) und kann also nicht zuverlässig beurteilt werden.

Bei den Einzeltierparametern werden nachfolgend nur die aufgeführt, bei denen durchschnittlich >0,5% der beurteilten Tiere betroffen waren. Der Parameter Bursitis schwankt in beiden Studien stark (Abb. 3). Dies lässt sich mit der praktischen Erfahrung begründen, dass die Gelenke beispielsweise bei starker Be-

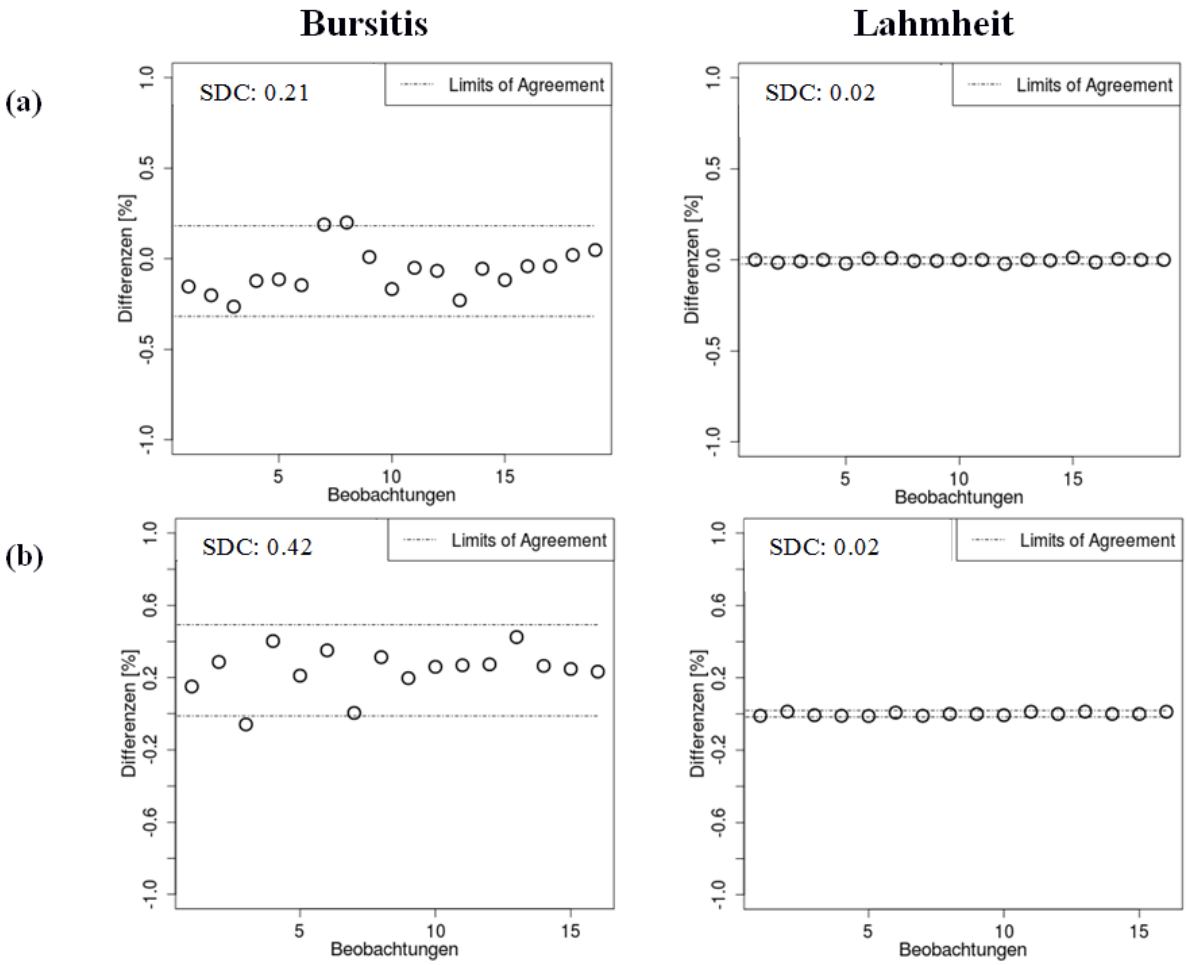


Abb. 3: Prozentanteil der Tiere mit Bursitisscore oder Lahmheitsscore 1 als Differenz zwischen den Beobachtern (a) bzw. zwischen der ersten Erhebung im ersten und zweiten Mastdurchgang (b) sowie Darstellung des Smallest Detectable Change (SDC) und Limits of Agreement (LoA).

wegungsaktivität der Tiere oder starker Verschmutzung der Gliedmaßen schwer zu beurteilen sind. Weiterhin können andere Ursachen für Schwellungen im Gelenkbereich, z.B. bakterielle Infektionen, nur schwer von Bursitis differenziert werden. Verschmutzung am Körper war zwar reliabel im Beobachtervergleich (SDC: 0.09; LoA: -0.1-0.1), nicht jedoch in der Retest-Studie (SDC: 0.45; LoA: -0.2-0.59). Dieser Parameter schwankt im Verlauf der Mast bzw. auch zwischen verschiedenen Mastdurchgängen, da er abhängig ist von Umgebungseinflüssen, wie z. B. der Umgebungstemperatur (Aarnink et al., 2006). Für die Beurteilung des Liegekomforts der Tiere ist der Parameter aufgrund der starken Schwankungen daher nur bedingt geeignet. Die Einzeltierparameter Wunden, Lahmheit, Hautzustand und Hernien zeigten in beiden Studien eine zufriedenstellende Reliabilität und sind in ihrer jetzigen Form geeignete Indikatoren.

Das Welfare Quality® Protokoll für Mastschweine ist praktikabel anwendbar. Eine Schulung zwecks einheitlicher Definition aller Indikatoren und Anleitun-

gen zur Durchführung ist zwar erforderlich, dennoch ist die Anwendung leicht erlernbar und für Jeden möglich. Unterschiede zwischen den Betrieben sind darstellbar und eine Einstufung dieser ist möglich. Der Indikator QBA für die Messung positiver Emotionen, der Mensch-Tier-Beziehungstest sowie die Einzeltierparameter Bursitis und Verschmutzung am Körper erwiesen sich als nicht zuverlässig in den vorgestellten Studien und benötigen Überarbeitung. Die sonstigen Einzeltierparameter sowie die Verhaltensbeobachtungen zeigten eine zufriedenstellende Reliabilität und konnten als verlässliche Indikatoren identifiziert werden.

Fazit und Ausblick

Eine vorläufige Liste geeigneter tiergestützter Indikatoren für die betriebliche Eigenkontrolle von Mastschbetrieben konnte aus dem Welfare Quality® Protokoll extrahiert werden (s. Tab. 2). Für die Indikatoren, welche sich als unzuverlässig erwiesen, ist das Ziel, verbesserte Indikatoren zu entwickeln, um schließlich alle Facetten des Tierwohls messbar zu machen und so eine allumfassende betriebliche Eigenkontrolle, die die gesetzlichen Vorgaben erfüllt, zu sichern. Beispielsweise wird in einem zukünftigen Forschungsprojekt überprüft, ob die Erfassung von Bursitis auch am Schlachthof möglich ist. In einem aktuellen Forschungsprojekt wird zudem die Gesamtauswertung des Welfare Quality® Protokolls überarbeitet mit dem Ziel, den Landwirten eine einfach zugängliche Online Plattform zur betriebsspezifischen Auswertung ihrer Ergebnisse und einen überbetrieblichen Vergleich zu ermöglichen. Zudem wird an der Beurteilung der Zuverlässigkeit der Indikatoren des Welfare Quality® Protokolls für Sauen gearbeitet.

Tab. 2: Liste geeigneter tiergestützter Indikatoren, teilweise ergänzt durch ressourcengestützte Indikatoren, die ebenfalls empfehlenswert sind.

Indikator	Klasse	Definition
Ernährungszustand	0	Guter Ernährungszustand
	2	Dünn: Wirbelsäule, Sitzbeinhöcker, Hüfte gut sichtbar
Tränken		Anzahl, Funktion, Sauberkeit, Durchflussrate der Tränken
Haufenlage	0	Keine Haufenlage
	2	Schwein liegt mit <50 % seines Körpers auf einem anderen Schwein
Zittern	0	Kein Zittern
	2	Zittern des gesamten Körpers oder Körperteils
Hecheln	0	Normale Atmung
	2	Schnelle, hechelnde Atmung

Platzangebot		verfügbarer Platz/100kg
Wunden	0	<4 Läsionen auf allen Körperzonen
	1	4-10 Läsionen auf einer/mehreren Körperzonen
	2	≥10 Läsionen auf zwei oder mehr Körperzonen/eine Körperzone >15 Läsionen
Schwanzverletzung	0	Keine Schwanzverletzungen
	2	Anzeichen einer Schwanzverletzung (Blut, Schwellung, Infektion)
Lahmheit	0	Normaler Gang/leichte Abnormalität
	1	Deutliche Lahmheit, aber Bein wird noch belastet
	2	Betroffenes Bein wird nicht belastet/Tier kann sich nicht erheben
Pumpende Atmung	0	Normale Atmung
	2	Erschwerte, pumpende Bauchatmung
Durchfall	0	Nur normaler Kot in der Bucht
	1	Normaler Kot und flüssiger Kot in der Bucht
	2	Nur flüssiger Kot in der Bucht
Hautzustand	0	Normale Farbe und Beschaffenheit der Haut
	1	0-10 % der Haut ist von abnormaler Farbe und Beschaffenheit
	2	>10 % der Haut ist von abnormaler Farbe und Beschaffenheit
Eingeweidebruch	0	keine Eingeweidebrüche
	1	kleiner Eingeweidebruch ohne Beeinträchtigung
	2	großer Eingeweidebruch bis auf den Boden/ Einblutungen in den Bruchsack
Schiefe Nase	0	Keine Abnormalitäten der Nase
	2	Verformung der Nase
Mastdarmvorfall	0	Keine Anzeichen eines Mastdarmvorfalls
	2	temporärer oder permanenter Mastdarmvorfall
Mortalität	%	Mortalität der letzten 12 Monate
Pneumonie	%	Prozentanteil der Tiere mit Pneumonie der letzten 12 Monate, zurückgemeldet vom Schlachthof
Pleuritis	%	Prozentanteil der Tiere mit Pleuritis der letzten 12 Monate, zurückgemeldet vom Schlachthof

Milkspots	%	Prozentanteil der Tiere mit Milkspots der letzten 12 Monate, zurückgemeldet vom Schlachthof
Pericarditis	%	Prozentanteil der Tiere mit Pericarditis der letzten 12 Monate, zurückgemeldet vom Schlachthof
Husten		Anzahl von Hustern
Niesen		Anzahl von Niesern
Kastration	0	Eber werden nicht kastriert
	1	Eber werden unter Betäubung kastriert
	2	Eber werden betäubungslos kastriert
Kupieren der Schwänze	0	Schwänze werden nicht kupiert
	1	Schwänze werden unter Betäubung kupiert
	2	Schwänze werden betäubungslos kupiert
Negatives Sozialverhalten	%	Aggressives Verhalten bzw. jegliches Verhalten das zu einer Änderung des Verhaltens des Empfängertieres führt/Schwanzbeißen
Positives Sozialverhalten	%	Berühren/Beschnüffeln/Bewühlen ohne Änderung des Verhaltens des Empfängertieres
Erkundung der Bucht	%	Berühren/Beschnüffeln/Bewühlen aller Einrichtungen der Bucht
Nutzung Beschäftigungsmaterial	%	Berühren/Beschnüffeln/Bewühlen mit Stroh oder anderem geeigneten Beschäftigungsmaterial

Literatur

Aarnink, A. J., J. W. Schrama, M. J. Heetkamp, J. Stefanowska, and T. T. Huynh. 2006. Temperature and body weight affect fouling of pig pens. Journal of Animal Science 84: 2224-2231.

Blokhuis, H., M. Miele, I. Veissier, and B. Jones (Editors). 2013. Improving farm animal welfare. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Gelderland, Netherlands.

de Vet, H. C. W., C. B. Terwee, D. L. Knol, and L. M. Bouter. 2006. When to use agreement versus reliability measures. Journal of Clinical Epidemiology 59: 1033-1039.

FAWC. 1979. First press notice, 5/12. MAFF, London, UK.

Fraser, D. 2008. Understanding animal welfare. Acta Veterinaria Scandinavica 50: S1.

Rousing, T., M. Bonde, and J. T. Sorensen. 2001. Aggregating welfare indicators into an operational welfare assessment system: A bottom-up approach. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science 51: 53-57.

Welfare Quality®. 2009. Welfare quality® assessment protocol for pigs. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Gelderland, Netherland.

Wechselwirkungen der spezifischen Haltungsumwelt in Kreislaufanlagen auf Leistungsparameter von Fischen

Carsten Schulz, Johann Torno, Christian van Bussel, Jan Schröder

Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH

Einleitung

Die Versorgung einer wachsenden Weltbevölkerung mit Fisch kann aufgrund stagnierender Erträge der Fischerei vermutlich nur durch zunehmende Erträge aus der Aquakultur gedeckt werden. Der überwiegende Teil der Aquakulturproduktion wird in Asien realisiert, jedoch besitzt die Aquakultur auch im europäischen Raum Ausbaupotential. Bei Berücksichtigung der aktuellen legislativen Einschränkungen in den meisten Ländern Europas muss dabei von einer vorrangigen Nutzung geschlossener Systeme ausgegangen werden. Die weitestgehende geschlossene Wasserführung wird durch die integrierte Aufbereitung des Prozesswassers erreicht. Die Vorteile von geschlossenen Kreislaufanlagen sind vielfältig und reichen vom geringen Wasserverbrauch und der daraus resultierenden Standortunabhängigkeit zur vollständigen Kontrolle der Umweltbedingungen und dadurch bedingten verkürzten Produktionszyklen. Durch die gezielte Einflussnahme auf die jeweiligen Prozesse im Kreislauf können die Umweltbedingungen an die Bedürfnisse der kultivierten Arten zudem angepasst werden.

Im Produktionsprozess reichern sich allerdings auch einige Stoffwechselendprodukte der Fische oder deren Metabolite aus der biologischen Wasseraufbereitung im Haltungswasser an, deren Wirkung auf Fische heute nur unzureichend bekannt ist. Insbesondere ist der Einfluss von Anreichungsprodukten mariner Fischarten in der Vergangenheit wissenschaftlich kaum untersucht worden, obwohl die spezifische Osmoregulation eine höhere Sensibilität im Vergleich zu Süßwasserfischen vermuten lässt.

Nitrat - ein relevanter Umweltfaktor

Grundsätzlich dienen die in Kreislaufanlagen integrierten mechanischen und biologischen Reinigungssysteme der Aufbereitung der durch die Fütterung der Fische anfallenden Stoffwechselendprodukte im Produktionsprozess. Um das Reinigungssystem entsprechend zu dimensionieren, ist die genaue Kenntnis über die anfallenden Nährstoffmengen und –formen zwingend notwendig. Über

die maximale täglich verabreichte Futtermenge können die von den Fischen ausgeschiedenen partikulären und gelösten Nährstofffraktionen kalkuliert werden (Eding et al., 2006; Piedrahita, 2003, Schneider et al., 2005). Dabei kommt den Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen eine entscheidende Bedeutung zu, da diese sich nach aktuellem Wissen potentiell auf den Gesundheitsstatus der Fische auswirken können. Während die Stickstoffverbindungen mit 60-70% überwiegend in der gelösten Fraktion als NH_4^+ und in sehr geringen Anteilen als Harnstoff exkretiert werden, lässt sich der Kohlenstoffanteil zu ca. 50 % in partikulärer als auch gelöster Form nachweisen (Schulz et al., 2003). Zur Vermeidung einer Rücklösung der Nährstoffe aus der partikulären Substanz ist demnach eine effektive und schnelle Abscheidung der Feststoffe in der ersten mechanischen Reinigungseinheit notwendig. In der sich anschließenden biologischen Aufbereitung werden die gelösten stickstoffhaltigen Stoffwechselendprodukte, das NH_4^+ (bzw. NH_3 bei pH-Werten im alkalischen Bereich), durch den aeroben Prozess der Nitrifikation in NO_2^- und NO_3^- oxidiert (siehe Gleichung 1 und 2). Die Umwandlung des NH_4^+ zu NO_3^- wird dabei von chemoautrotrophen Bakterien umgesetzt, die sich in sogenannten Biofilmverfahren auf den Oberflächen der angebotenen Filtersubstrate ansiedeln.
NO_3^--N reichert sich als Endprodukt des NH_4^+-Umbaus im Kreislaufanlagenwasser an. Realistische Nitrat-Gehalte in kommerziellen Aquakultur-Kreislaufsystemen liegen im Bereich von etwa 100 bis 300 mg/l NO_3^--N, wobei in Ausnahmefällen Spitzenwerte bis über 1000 mg/l NO_3^--N erreicht werden. Die gängigsten Biofilmverfahren in Kreislaufsystemen stellen Tropfkörper, getauchte Festbettfilter oder Wirbelbettfilter dar, die variierende Umbauleistungen des Gesamtammonium-Stickstoffs (TAN) von 0,2-1,2 g/m²/d aufweisen können (Eding et al., 2006). Die hohen Schwankungen lassen eine starke Wechselwirkung mit anderen chemisch-physikalischen Wasserinhaltstoffen vermuten. Insbesondere der mikrobielle Abbau organischer Substanzen aus den partikulären Frakktionen, der energetisch höchst effektiv ist, kann bei zeitgleicher Anwesenheit zum NH_4^+ zur Hemmung der zweistufigen Nitrifikationsvorgänge führen(siehe Gleichungen (1, 2, 3).

(1) Nitritation: $2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$ = -76 kJ/mol

(2) Nitratation: $2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$ = -273 kJ/mol

(3) Glukoseabbau: $C(H_2O) + O_2 \rightarrow CO_2$ = -478,3 kJ/mol

Eine effektive mechanische Reinigungseinheit ist somit Grundvoraussetzung für den uneingeschränkten Abbau der Ammoniumverbindungen. Als Folge dieser biologischen und mechanischen Reinigungsprozesse können sich NO_3^--N-Verbindungen in großen Mengen anreichern.
Nur wenig ist bislang über die Aufnahmemechanismen und die toxische Wirkung von Nitrat in Meerwasser bekannt. Als bisheriger Sicherheits-Grenzwert für die marine Fischhaltung wird eine Konzentration von etwa 500 mg/l NO_3^--N angegeben. Jedoch basiert dieser Wert auf nur wenigen Untersuchungen. Zudem existieren bislang keine Informationen bezüglich des Effekts von Nitrat auf entscheidende Produktionsparameter wie Wachstum und Futteraufnahme bei marinen Aquakultur-Arten. Es besteht dementsprechend ein dringender Bedarf grundlegende Informationen zum Einfluss des Nitrat-Gehalts sowohl auf die Fischgesundheit als auch auf die Produktionsleistung mariner Aquakultur-Spezies zu erhalten, um damit den potentiellen Bedarf einer weiteren Wasseraufbereitung beurteilen zu können.

Versuchsdurchführung
Daher wurden in einem Expositionsversuch juvenile Steinbutt (*Psetta maxima*) in 12 separaten Versuchs-Kreislaufanlagen (Abb. 1) 4 unterschiedlichen Nitrat-Konzentrationen (0, 125, 250 und 500 mg/l NO_3^--N) mit jeweils 3 Replikaten für 42 Tage ausgesetzt. Zur Beurteilung des Nitrat-Einflusses auf den Steinbutt wurde neben der Betrachtung unterschiedlicher Gesundheitsparameter besonderer Wert auf die Erhebung relevanter Produktionsparameter wie Wachstum, Futteraufnahme und Futterverwertung gelegt.

Abb. 1: Versuchsanlage in halbtechnischem Maßstab bestehend aus 12 unabhängigen Kleinkreisläufen mit jeweils eigener Wasseraufbereitung

Versuchsergebnisse

Es konnte eine lineare Abnahme der Wachstumsleistung mit zunehmender Nitrat-Konzentration festgestellt werden (Abb.2). Schon bei einer Konzentration von nur 125 mg/l NO_3^--N war eine signifikante Beeinträchtigung der Wachstumsleistung im Vergleich zur Kontrolle zu verzeichnen. Auch die Futterverwertung nahm deutlich mit zunehmender Nitrat-Konzentration ab. Eine signifikante Beeinträchtigung der Futterverwertung im Vergleich zur Kontrolle trat ab einer Konzentration von 250 mg/l NO_3^--N auf (Abb. 2).

Eine Konzentration von 250 mg/l NO_3^--N führte neben einer signifikanten Beeinträchtigung entscheidender Produktionsparameter wie Futteraufnahme, Futterverwertung und Wachstum zudem zu adversen Effekten auf die Fischgesundheit. Ein signifikanter Effekt konnte in Bezug auf Mortalität, Kondition und Milzgröße (nicht dargestellt) nachgewiesen werden.

Bei einer Nitrat-Konzentration von 125 mg/l NO_3^--N konnte dagegen keine Beeinträchtigung der erhobenen Gesundheitsparameter festgestellt werden. Als Sicherheits-Grenzwert für die Fischgesundheit kann somit ein Wert von ≤125 mg/l NO_3^--N für den Steinbutt angenommen werden.

Da allerdings bei einer Konzentration von 125 mg/l NO_3^--N eine signifikante Reduktion von Wachstum und Futteraufnahme zu verzeichnen war, sollte als Richtwert für optimale Produktionsbedingungen ein Nitrat-Gehalt von deutlich weniger als 125 mg/l NO_3^--N gelten.

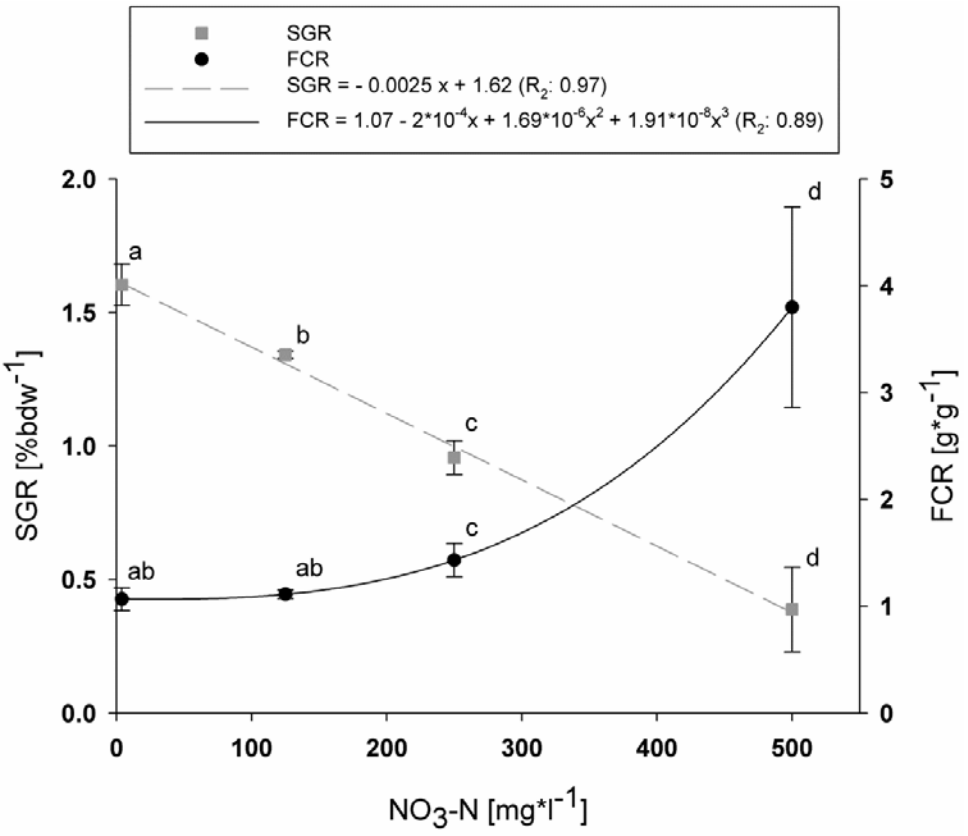


Abb. 2: Spezifische Wachstumsrate (SGR) sowie Futterquotient (FCR) von juvenilen Steinbutt (*Psetta maxima*) in Abhängigkeit der mittleren Nitrat-N Konzentration (mg/l) nach einer 42-tägigen Expositionszeit. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (van Bussel et al., 2013).

Technische Lösung – Denitrifikation

Diese Erkenntnisse verdeutlichen die bislang häufig verkannte hohe Relevanz einer Nitrat-Entfernung in marinen Kreislaufsystemen und verlangen technische Lösungen. In der kommunalen und industriellen Klärtechnik haben sich biologische Denitrifikationsverfahren zur effektiven Entfernung des Nitrifikations-Endproduktes Nitrat seit längerem etabliert und bewährt. In geschlossenen Kreislaufanlagen zur Fischerzeugung sind die hohen zirkulierenden Volumenströme bei vergleichsweise geringer organischer Last und hohen Sauerstoffkonzentrationen problematisch bei der Umsetzung eines gezielten Denitrifikationsprozesses. Konventionelle Denitrifikationsverfahren zeigen deshalb bei der Anwendung in der Fischzucht häufig einen instabilen und wenig effizienten Betrieb. Mit dem Ziel ein wartungsarmes, stabil und effizient arbeitendes Denitrifikationsverfahren für die sichere Anwendung in der Kreislauf-Aquakultur zu entwickeln, wurde ein geschlossenes Bewegtbett-Filtersystem für den Denitrifi-

kationsprozess angepasst (Müller-Belecke, 2012). Der eingesetzte Reaktor hat ein Gesamtvolumen von 0,85 m³ (Abb. 3) und fasst 0,75 m³ Haltungswasser mit 0,45 m³ schwimmende Aufwuchskörper. Im Rahmen des Denitrifikationsprozesses bildet sich inertes Stickstoffgas, welches sich im oberen Teil des Reaktors sammelt und für die Umwälzung der Aufwuchskörper durch einen zeitgesteuerten Seitenkanalverdichter genutzt wird. Um die Umwälzung der Aufwuchskörper zu initiieren, wird der Seitenkanalverdichter automatisch für kurze Zeit bei voller Last betrieben. Durch die Bewegbett-Technologie und die Zirkulation des sauerstoffarmen Inertgases (Stickstoffgas) in einem geschlossenen Reaktorraum werden Voraussetzungen für einen stabilen anoxischen Denitrifikationsprozess ermöglicht. Ferner wird für den Denitrifikationsprozess eine Kohlenstoffquelle (Methanol) benötigt, die automatisch über eine Dosiereinheit dem Zulaufwasser zugegeben wird.

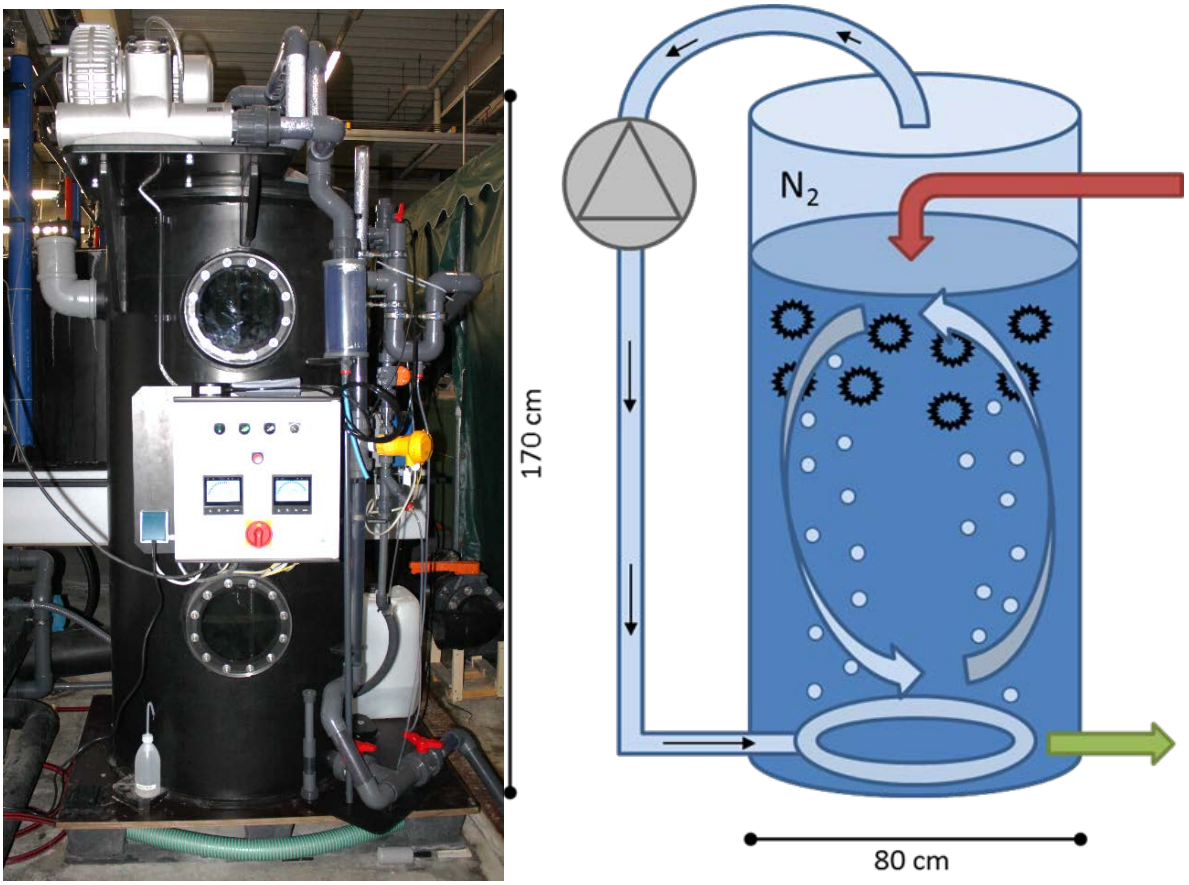


Abb. 3: Denitrifikationsreaktor inklusive Schemazeichnung.

Versuchsdurchführung
Nach der fachgerechten Installation des Denitrifikationsreaktors an einem mesoskaligen Kreislaufsystem bei der Gesellschaft für Marine Aquakultur (40 m³ Wasservolumen) wurde der Reaktor schrittweise in Betrieb genommen. In den ersten zwei Wochen wurde der Reaktor ohne Aufwuchskörper betrieben. Danach wurde der Reaktor als aerober MBBR für weitere 3 Wochen genutzt. Die Umstellung des Reaktors auf anoxische Bedingungen erfolgte nach der 5. Versuchswoche. In einer ersten Untersuchung wurde dann die Nitratelimination bei unterschiedlichen aufeinanderfolgenden Retentionszeiten des Wassers (6, 4 & 2 h) erfasst.

Denitrifikationsleistung
Tab. 1 zeigt die Denitrifikationsleistung des Reaktors bei drei unterschiedlichen Retentionszeiten. Es konnte durch den Einsatz des Denitrifikationsreaktors eine signifikante und effektive Reduktion der zulaufenden NO_3^--N-Gehalte bei allen getesteten Retentionszeiten beobachtet werden. Hinsichtlich der prozentualen NO_3^--N-Reduktion konnte bei der höchsten getesteten Retentionszeit von 6 Stunden mit 83 % die höchste relative NO_3^--N-Reduktion erreicht werden.

Tab. 1: Denitrifikationsleistung bei unterschiedlicher Retentionszeit

Retentionszeit [h]		NO_3^--N Zulauf [mg/L]	NO_3^--N Ablauf [mg/L]	NO_3^--N Reduktion		
				[%]	[mg NO_3^--N/L/h]	[g/d*m³][1]
6	MW	45	10	83	36,3	229
	SD	8,8	12,9	23,6	11,3	72
4	MW	33	11	64	21,3	198
	SD	6,7	5,6	39,4	8,5	83
2	MW	24	10	61	14,4	281
	SD	6,4	5,8	23,3	6,5	126

[1]Bezogen auf 1 m³ Aufwuchskörperbett

Wurde der Reaktor mit geringeren Retentionszeiten von 4 und 2 h betrieben, so sank die relative NO_3^--N-Reduktion auf 64 und 61 %. Aufgrund der höheren hydraulischen Belastung kann bei kurzer Aufenthaltszeit des zu reinigenden Wassers potentiell eine höhere NO_3^--N-Elimination erwartet werden. Schwankende Belastungen (Abb.4) zwischen den Versuchen mit unterschiedlicher Re-

tentionszeit lassen diesen Zusammenhang jedoch aus Tab. 1 nicht eindeutig ableiten, trotz höchster NO_3^--N-Elimination von 281 g/d*m³ bei 2 h Retentionszeit.

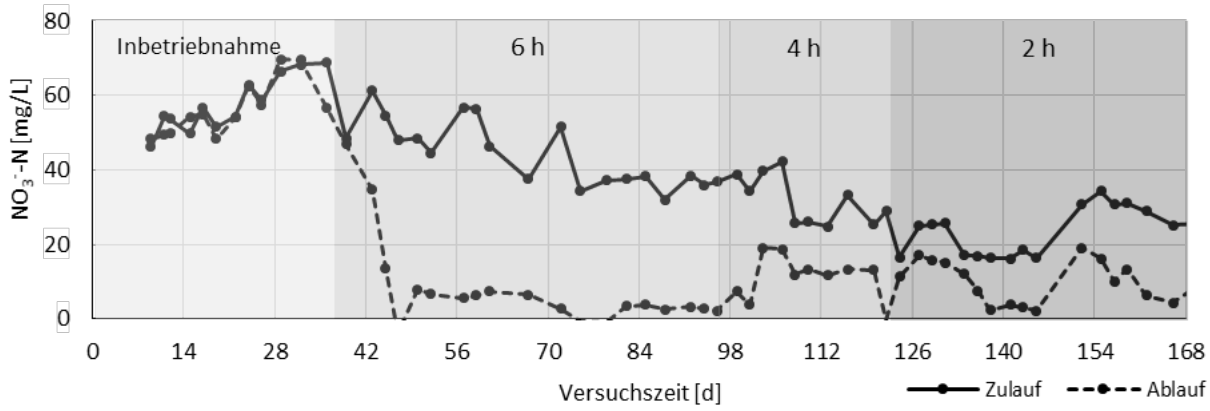


Abb. 4: Nitrat-N Konzentration im Zulauf und Ablauf des Denitrifikationsreaktors

Abb. 4 zeigt den Verlauf der NO_3^--N-Gehalte im Versuchssystem. Es konnte gezeigt werden, dass die zulaufenden NO_3^--N-Gehalte mit zunehmender Versuchsdauer von 80 mg/l auf unter 20 mg/l sanken. Aufgrund des konsekutiven Versuchsverlaufs wurde bei den Untersuchungen zum Versuchsende bei geringerer Retentionszeit eine geringere NO_3^--N-Belastung als bei den anfänglichen Untersuchungen vorgefunden. Eine Vergleichbarkeit der absoluten NO_3^--N-Elimination bei unterschiedlichen Retentionszeiten ist somit nur bedingt möglich.

Zusammenfassung

Die vorgestellten Untersuchungen haben eindrucksvoll die Relevanz zur N-Elimination in marinen Kreislaufsystemen und das große Potential angepasster Denitrifikationssysteme belegt. In nachfolgenden Untersuchungen müssen jedoch verfahrenstechnische Anpassungen zum Einsatz des Denitrifikationsreaktors durchgeführt werden, um den praktischen Einsatz in marinen Kreislaufsystemen hinreichend einschätzen zu können.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Finanzierung der hier vorgestellten Untersuchungen aus den Projektvorhaben AZ 31426/1 und AZ 28126-31.

Literatur

Eding, E.H., Kamstra, A., Verreth, J.A.J., Huisman E.A., Klapwijk, A., 2006. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review, Aquacultural Engineering, Volume 34, 3, 234-260.

Müller-Belecke, A., 2012. Entwicklung eines Verfahrens zur Denitrifikation in geschlossenen Kreislaufanlagen zur Fischerzeugung unter Verwendung eines modifizierten Niedrigenergie-Moving-bed-Filters. Abschlussbericht zum DBU-Forschungsvorhaben AZ 28133

Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation Aquaculture, 226, 1-4, 35-44.

Schneider, O., Sereti, V., Eding, E.A., Verreth, J.A.J., 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems, Aquacultural Engineering, 32, 3-4, 379-401.

Schulz, C., Gelbrecht, J., Rennert, B., 2003. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetlands with emergent plants and subsurface horizontal water flow. Aquaculture 217, 207-221.

van Bussel, C., Schroeder, J., Wuertz, S., Schulz, C., 2012. The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (*Psetta maxima*), Aquaculture, 326-329, 163-167.

Es grünt so grün – Biodiversitätseffekte des Greenings

Tim Diekötter

Institut für Natur- und Ressourcenschutz

Der mit der Intensivierung der Landwirtschaft seit Mitte des 20igsten Jahrhunderts einhergehende Verlust räumlicher und zeitlicher Heterogenität (Benton et al., 2003) hat einen anhaltenden Rückgang der Diversität so unterschiedlicher Gruppen wie Pflanzen (Sutcliffe and Kay, 2000), Arthropoden (Sotherton and Self, 2000), Vögel (Chamberlain et al., 2000) und Säugetiere zur Folge. Die mit Jahresbeginn 2015 in Kraft getretenen Regelungen zum Greening der Direktzahlungen in der ersten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) in der Europäischen Union (EU) zielen auf eine Umkehr dieses Verlustes der Biodiversität in heutigen Agrarlandschaften. Drei grundsätzliche Vorgaben sollen diesem Ziel dienen: 1) Erhalt des Dauergrünlands, 2) Bereitstellung von mindestens 5 Prozent Ökologischer Vorrangfläche (ÖVF) auf der Ackerfläche sowie 3) Anbaudiversifizierung. Da aktuelle Forschungsergebnisse zu Biodiversitätseffekten des Greenings noch nicht vorliegen, wird hier mithilfe bereits publizierter Erkenntnisse landschaftsökologischer Studien die zu erwartende Wirksamkeit des Greenings der ersten Säule zur Förderung der Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren in der Agrarlandschaft diskutiert.

Die Vorgabe zum Erhalt des Dauergrünlandes basiert auf dem sehr hohen Artenreichtum dieses Landnutzungstyps. Egan & Mortensen (2012) konnten in einer Untersuchung zu den Beiträgen von Ackerland, unregelmäßig gemähter Wiesen früher Sukzessionsstadien, Weiden und Wald zur pflanzlichen Diversität in einer amerikanischen Agrarregion (314,5 ha) zeigen, dass das als Wiese genutzte Grünland, trotz seines geringen Flächenanteils von nur 2,9%, 213 Pflanzenarten aufwies, während man auf Weiden, mit einem Flächenanteil von 6,7%, 153 Pflanzenarten zählte und auf Ackerland mit 66,5% der Fläche sogar nur 89 Arten. Von diesen 89 Arten waren lediglich neun, inklusive vier Anbaufrüchten, spezifisch für Ackerland. Diese hohe Biodiversitätswirkung gilt allerdings nur für Grünländer niedriger Nutzungsintensität. Im Rahmen der durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Biodiversitätsexploratorien haben auch Allan und Koautoren (2014) eine solch positive Wirkung für einen Multidiversitätsindex mit insgesamt 49 verschiedenen Organismengruppen im Grasland nachgewiesen. Es zeigte sich jedoch, dass die Multidiver-

sität in den 150 untersuchten Grasländern in Deutschland mit steigender Intensität der Nutzung abnahm. Dies war insbesondere für die selteneren Arten der Fall. Günstig auf die Biodiversität wirkte sich hingegen eine interannuelle Variabilität in der Nutzungsintensität aus (Allan et al., 2014). Da in der jetzigen Greening Verordnung eine Spezifizierung der Nutzungsintensität für die vorzuhaltende Fläche an Dauergrünland fehlt und dieses bei Anlage neuen Grünlands in gleicher Menge auch umgebrochen werden darf, sind deutlich positive Biodiversitätseffekte durch die Vorgabe zum Erhalt des Dauergrünlandes in ihrer jetzigen Form nicht zu erwarten.

Zusätzlich zur Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung des Grünlands hängen dessen Diversitätseffekte auch von Gesamtfläche und Einbindung des Grünlands im Landschaftskontext ab, wie Öckinger und Smith (2006) in ihrer Untersuchung zur Tagfalterdiversität in schwedischem Grünland feststellten. So war die Artenzahl der Schmetterlinge in den untersuchten Flächen signifikant höher, wenn der sie umgebende Grünlandanteil höher als 15% war. Dies deutet darauf hin, dass zum Erreichen der von der Bundesregierung definierten Biodiversitätsziele in der Agrarlandschaft (BMU 2007, 10) ein Mindestmaß an extensiv genutzten und natürlichen Landschaftsbestandteilen vorhanden sein muss und über dem momentan festgeschriebenen Flächenanteil von 5% ökologischer Vorrangfläche (ÖVF) liegen muss.

Die zum Erreichen der gesetzten Biodiversitätsziele benötigte Flächengröße extensiv genutzter oder natürlicher Landschaftselemente hängt von der Spezifizität der verschiedenen Habitatelemente und –typen in der von ihnen beherbergten Flora und Fauna ab. Je geringer die Überschneidung der Artensets der verschiedenen Elemente und Typen ist, desto weniger Fläche pro Habitattyp, aber umso mehr Habitattypen müssen in ein Schutzkonzept einbezogen werden, dessen Ziel es ist, möglichst viele Arten einer Agrarlandschaft zu schützen (Diekötter and Crist, 2013). Bei der Ausgestaltung von Konzepten für den Schutz der Agrobiodiversität gilt es außerdem zu betrachten, ob die gesetzten Ziele eher durch eine Extensivierung der agrarischen Nutzung erreicht werden können, unter Inkaufnahme eines Ertragsverlustes und damit eines höheren Flächenverbrauchs (sharing), oder durch eine Intensivierung mit höheren Erträgen und potentieller Unterschutzstellung der so gesparten Fläche (sparing) (Fischer et al., 2014, Phalan et al., 2011).

Basierend auf den festgestellten pflanzlichen Diversitäten in der untersuchten Agrarlandschaft in den USA, berechneten Egan & Mortensen (2012) die Effektivität der beiden Ansätze, sharing vs. sparing, in der Erhöhung der pflanzlichen Diversität einer ausgewählten Region unter expliziter Berücksichtigung der bereits vorgefundenen Landschaftsstruktur. So konnten sie zeigen, dass die Umwandlung von 3,2% des vorhandenen Ackerlands in Wiese (sparing) in ausge-

räumten bis einfachen Landschaften mit einem Anteil naturnaher Habitate von 0% bis ca. 10% einer cross-compliance ähnlichen Bewirtschaftung des Ackerlandes nach Art der ökologischen Vorrangflächen (ÖVF) in der Erzeugung zusätzlicher Pflanzenartenvielfalt überlegen war. In Landschaften mit einem Anteil naturnaher Habitate von über 12% hingegen, fiel die Anzahl der durch neu entstandenes Grasland geförderten, zusätzlichen Pflanzenarten unter die im Sharing-Ansatz (ÖVF) erzielte Erhöhung der Pflanzenartenzahl. Dieses Modellergebnis stellte sich nahezu identisch dar, wenn die 3,2% Ackerfläche nicht ausschließlich in Wiese, sondern auch in Weide und Wald umgewandelt wurde. Egan & Mortensens (2012) Ergebnisse unterstützen somit Forderungen des Naturschutzes, dass natürliche und naturnahe Habitatelemente mindestens 10-15% der Fläche in Agrarlandschaften einnehmen sollten, um die Biodiversität dieser Systeme erhalten zu können (Hampicke, 2013). Ohne gleichzeitige Programme zum Biodiversitätsschutz in der ackerbaulich genutzten Fläche (ÖVF, sharing) müsste dieser Anteil jedoch höher liegen, wenn das gleiche Maß an Arten geschützt werden soll.

Untersuchungen von Billeter und Kollegen (2008) zum Einfluss der Landschaftsstruktur auf die Biodiversität zeigen, dass durch höhere Flächenanteile und damit häufig auch einer höheren Zahl unterschiedlicher Typen naturnaher Habitate noch weitaus mehr Arten der Agrarlandschaft geschützt werden können als durch die geforderten 15% . So stieg die Anzahl krautiger Pflanzen und Vögel in 25 Agrarregionen sieben europäischer Länder (Belgien, Deutschland, Estland, Frankreich, Niederlande, Tschechien, Schweiz) entlang eines Gradienten des Anteils naturnaher Habitate von 3 bis 53% signifikant linear an. Hieraus wird deutlich, dass die geforderten 10 bis 15% naturnaher Fläche zum Biodiversitätsschutz in Agarlandschaften bei weitem keine Maximalforderung des Naturschutzes darstellen. Es bleibt außerdem festzuhalten, dass die jetzt im Greening festgeschriebenen 5% ÖVF nur zu einem Teil permanente naturnahe Habitatstrukturen (z.B. Hecken, Brachen, Feldrandstreifen) beinhalten und zu einem Großteil durch transiente Maßnahmen im Management der Kultur (z.B. Zwischenfrucht und Untersaat oder Leguminosen) abgedeckt werden können. Dabei sind es gerade die permanenten Strukturen oder die Kombination dieser Strukturen mit bestimmten Anbaufrüchten, die für die Artenvielfalt in Agrarlandschaften von entscheidender Bedeutung sind (Diekötter et al., 2006, Diekötter et al., 2013).

Neben den signifikant positiven Effekten naturnaher Habitatelemente auf die Biodiversität konnten Billeter et al. (2008) für die Arthropoden auch einen positiven Effekt der Anbaufruchtdiversität auf deren Artenzahl in Agrarlandschaften feststellen. Hierbei setzte sich der positive Effekt der Anbaufruchtdiversität auf die Artenzahl der Wildbienen, Wanzen oder Laufkäfer über die im Greening

geforderten 2 bis 3 Kulturarten und ließ, insbesondere für die Laufkäfer, auch bei der doppelten Anzahl von Feldfrüchten noch keine Abschwächung des Zusammenhangs erkennen. Dieser positive Zusammenhang zwischen Anbaufruchtdiversität der Landschaft und Artenzahl wurde in einer aktuellen Arbeit von Palmu und Kollegen (2014) ebenso für lokale Laufkäfergemeinschaften in unterschiedlichen Anbaufrüchten in Südschweden gezeigt. Der in der Studie von Palmu et al. (2014) gezeigte positive Zusammenhang deutet darauf hin, dass eine Erhöhung der Anbaufruchtdiversität auf der Landschaftsskala über sieben Feldfrüchte hinaus eine weitere Steigerung der lokalen Laufkäferdiversität bewirken würde.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die mit Jahresbeginn 2015 in Kraft getretenen Regelungen zum Greening der Direktzahlungen in der ersten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) in der Europäischen Union (EU) mit 1) Erhalt des Dauergrünlands, 2) Bereitstellung von mindestens 5 Prozent Ökologischer Vorrangfläche (ÖVF) auf der Ackerfläche sowie 3) Anbaudiversifizierung prinzipiell geeignete Vorgaben zum Schutz der Biodiversität in Agrarlandschaften machen. Anhand der vorgestellten Ergebnisse bereits veröffentlichter wissenschaftlicher Studien wird jedoch auch deutlich, dass die festgeschriebenen Vorgaben weit hinter jenem Maß zurückbleiben, welches notwendig wäre, um deutlich sichtbare Verbesserungen der Situation der Artenvielfalt in heutigen, intensiv genutzten Agrarlandschaften erwarten zu können.

Literatur

Allan, E., Bossdorf, O., Dormann, C. F., Prati, D., Gossner, M. M., Tscharntke, T., Bluethgen, N., Bellach, M., Birkhofer, K., Boch, S., Boehm, S., Boerschig, C., Chatzinotas, A., Christ, S., Daniel, R., Diekötter, T., Fischer, C., Friedl, T., Glaser, K., Hallmann, C., Hodac, L., Hoelzel, N., Jung, K., Klein, A. M., Klaus, V. H., Kleinebecker, T., Krauss, J., Lange, M., Morris, E. K., Mueller, J., Nacke, H., Pasalic, E., Rillig, M. C., Rothenwoehrer, C., Schally, P., Scherber, C., Schulze, W., Socher, S. A., Steckel, J., Steffan-Dewenter, I., Tuerke, M., Weiner, C. N., Werner, M., Westphal, C., Wolters, V., Wubet, T., Gockel, S., Gorke, M., Hemp, A., Renner, S. C., Schoening, I., Pfeiffer, S., Koenig-Ries, B., Buscot, F., Linsenmair, K. E., Schulze, E.-D., Weisser, W. W. and Fischer, M. (2014) Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **111,** 308-313.

Benton, T. G., Vickery, J. A. and Wilson, J. D. (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution*, **18,** 182-188.

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, J. P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann, A., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M. J. M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., van Wingerden, W., Zobel, M. and

Edwards, P. J. (2008) Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study *Journal of Applied Ecology,* **45,** 141-150.

BMU / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007) Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Bonn, 178 S.

BMU / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2010) Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Bonn, 87 S.

Chamberlain, D. E., Fuller, R. J., Bunce, R. G. H., Duckworth, J. C. and Shrubb, 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. and Crist, T. O. (2013) Quantifying habitat-specific contributions to insect diversity in agricultural mosaic landscapes *Insect Conservation and Diversity,* **6,** 607-618.

Diekötter, T., Peter, F., Jauker, B., Wolters, V. and Jauker, F. (2013) Mass-flowering crops increase richness of cavity-nesting bees and wasps in modern agro-ecosystems *Global Change Biology Bioenergy*.

Diekötter, T., Walther-Hellwig, K., Conradi, M., Suter, M. and 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.

Egan, J. F. and Mortensen, D. A. (2012) A comparison of land-sharing and land-sparing strategies for plant richness conservation in agricultural landscapes *Ecological Applications,* **22,** 459-471.

Fischer, J., Abson, D. J., Butsic, V., Chappell, M. J., Ekroos, J., Hanspach, J., Kuemmerle, T., Smith, H. G. and von Wehrden, H. (2014) Land Sparing Versus Land Sharing: Moving Forward *Conservation Letters,* **7,** 149-157.

Hampicke, U. (2013) *Kulturlandschaft und Naturschutz : Probleme - Konzepte - Ökonomie,* Springer Spektrum.

Ockinger, E. and Smith, H. G. (2006) Landscape composition and habitat area affects butterfly species richness in semi-natural grasslands *Oecologia,* **149,** 526-534.

Palmu, E., Ekroos, J., Hanson, H. I., Smith, H. G. and Hedlund, K. (2014) Landscape-scale crop diversity interacts with local management to determine ground beetle diversity *Basic and Applied Ecology,* **15,** 241-249.

Phalan, B., Onial, M., Balmford, A. and Green, R. E. (2011) Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Land Sparing Compared *Science,* **333,** 1289-1291.

Sotherton, N. W. and Self, M. J. (2000) In *Ecology and Conservation of Lowland Farmbirds*(Eds, Aebischer, N. J., Evans, A. D., Grice, P. V. and Vickery, J. A.) BOU, Tring, pp. 26-35.

Sutcliffe, O. L. and Kay, Q. O. N. (2000) Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s *Biological Conservation,* **93,** 1-8.

Können die Spurengasemissionen nach organischer und mineralischer Düngung durch Nitrifikationsinhibitoren reduziert werden?

Marcus Rohwer und Karl Hermann Mühling

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

1. Einleitung

Die Anzahl der Biogasanlagen hat sich in Deutschland im Laufe der vergangenen zehn Jahre nahezu vervierfacht. Eine Folge dieser Entwicklung ist der vermehrte Anbau von Energiepflanzen, der inzwischen 12,5% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzflächen in Anspruch nimmt (Statistisches Bundesamt, BWI_3, BMEL, FNR, 2014). Diese Entwicklung wird gerade im Zusammenhang mit dem vermehrten Anbau von Mais (Vermaisung) in weiten Teilen der Bevölkerung kritisch betrachtet. Ein Rückgang der Biodiversität auf derart genutzten Ackerflächen sowie eine Auszehrung des Bodens gehören u.a. zu den befürchteten Folgen.

Die Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf klimawirksame Spurengasemissionen ist ein weiterer Aspekt, der auch in wissenschaftlichen Kreisen seit längerem umstritten ist. Während einige Untersuchungen zu dem Schluss kommen, dass der Energiepflanzenanbau ein um 33 – 115% geringeres Treibhauspotential aufweist als fossile Brennstoffe (Adviento-Borbe et al., 2007; Adler et al., 2007; Möller und Stinner, 2009), haben andere Untersuchungen ergeben, dass der Energiepflanzenanbau mit verstärkten Lachgasemissionen (N_2O) verbunden ist (Crutzen et al., 2008). Vor allem im Vergleich mit mineralischen Düngern scheint der Einsatz von Biogasgärresten als Stickstoffdünger mit deutlich erhöhten N_2O-Emissionen verbunden zu sein (Wolf et al., 2014). Die N_2O-Emissionen sind von besonderer Bedeutung, da ihre Klimawirksamkeit rund 300 mal größer ist als die von CO_2.

Innerhalb eines Verbundprojektes mit dem Titel „Potenziale zur Minderung der Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen beim Anbau von Energiepflanzen zur Gewinnung von Biogas“ wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Landschaftsbiogeochemie des Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., dem Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München, der Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock, dem Johann Heinrich von Thünen Institut in Braunschweig sowie dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-

Albrechts-Universität zu Kiel die Auswirkungen der Biogasgärrestdüngung auf die Spurengasemissionen beim Anbau von Mais untersucht.
Ziele dieses von der FNR geförderten Verbundvorhabens waren die Untersuchung des Einflusses von Standort und Bewirtschaftung beim Energiepflanzenanbau auf den Spurengasaustausch, die Klimawirkung sowie den Vorrat organischer Bodensubstanz (OBS). Neben der Modellierung des Spurengasaustauschs sollten Grundlagen für eine Reduzierung der Klimawirkung und eine langfristige Erhaltung des OBS-Vorrats sowie standortspezifische Ökobilanzen erarbeitet werden. Zu diesem Zwecke wurden an fünf Standorten in Deutschland Versuchsflächen eingerichtet, um eine große Vielfalt an Bodencharakteristika sowie klimatischer Bedingungen abzudecken. Bei den Standorten handelte es sich um Ascha bei München, Dornburg bei Jena, Dedelow bei Prenzlau, Gülzow bei Rostock sowie Hohenschulen bei Kiel. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kieler Arbeitsgruppe vorgestellt, deren thematischer Schwerpunkt auf der Bewertung von Minderungsstrategien zur Reduzierung der Lachgasemissionen nach Gärrestapplikation lag.

2. Entstehung von Lachgas im Boden und bestehende Minderungsstrategien

N_2O entsteht bei unvollständiger Nitrifikation und Denitrifikation applizierter Düngemittel im Boden (Jarvis, 1993). Der weitaus größere Anteil dieser Emissionen entstammt der Denitrifikation (Senbayram et al., 2009). Die Denitrifikation und die damit verbundenen Lachgasemissionen werden befördert durch eine hohe Bodenfeuchte (Zhu et al., 2013), das Vorkommen organischer Substanz im Boden (Stehfest und Bouwman, 2006), einem hohen Nitratgehalt im Boden (Senbayram et al., 2012) sowie vergleichsweise geringe Bodentemperaturen (Ellis et al., 1998). Biogasgärreste erfüllen somit durch den enthaltenen Stickstoff, der mittels Nitrifikation innerhalb weniger Tage in Nitrat umgesetzt wird, sowie den ebenfalls enthaltenen organischen Kohlenstoffverbindungen gleich zwei Bedingungen, die ein erhöhtes Risiko für Lachgasemissionen vermuten lassen.
Bestehende Minderungsstrategien basieren im Wesentlichen auf der Verbesserung der N-Düngemittelnutzungseffizienz durch die Synchronisation des Düngezeitpunktes mit dem N-Bedarf der Pflanzen sowie einer bedarfsgerechten Dosierung der N-Gaben. Des Weiteren kann die Auswahl der Applikationstechnik (Einarbeitung bzw. Injektion vs. Oberflächlicher Applikation) einen großen Einfluss auf die Spurengasemissionen haben. Die bedeutendste Minderungsstrategie in Bezug auf Lachgas stellt der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren dar. Diese verzögern die Umsetzung des im Düngemittel enthaltenen Ammoniums zu Nitrat, so dass das Nitrat möglichst erst zum Zeitpunkt des Stickstoffbedarfs

vorliegt und somit nur für einen sehr kleinen Zeitraum der Denitrifikation zur Verfügung steht.
Ruser und Schulz (2015) bewerten den Minderungseffekt von Nitrifikationsinhibitoren auf der Grundlage von 140 Datensätzen mit 35%. Jedoch fügen die Autoren einschränkend hinzu, dass es unter diesen Datensätzen nur wenige ganzjährige Untersuchungen gibt. Aus diesem Grunde bleiben einige für den Spurengasaustausch bedeutsame Zeiträume, wie z.B. Frost-Tau-Zyklen, häufig unberücksichtigt. Besagte Frost-Tau-Zyklen können beispielsweise 50 bis 76% der Jahresemissionen ausmachen. Des Weiteren ist der Effekt von Nitrifikationsinhibitoren meist in Verbindung mit herkömmlicher Gülle untersucht worden. Der Effekt der Inhibitoren in Verbindung mit Biogasgärresten ist noch weitgehend unerforscht.
Im Folgenden werden die Ergebnisse ganzjähriger Untersuchungen der Effektivität des Nitrifikationsinhibitors Piadin bei Gärrestdüngung vorgestellt. Außerdem werden die Gasemissionen nach Düngung mit KAS mit denen nach Düngung mit dem stabilisierten mineralischen Dünger ENTEC verglichen. Mögliche witterungs- sowie standortsbedingte Unterschiede in der Wirksamkeit der Nitrifikationsinhibitoren wurden in die Betrachtung der Spurengasemissionen mit einbezogen. Auch der Einfluss der Applikationstechnik auf die Effektivität von Piadin wurde untersucht.

3. Material und Methoden

An den fünf Versuchsstandorten wurde in drei aufeinanderfolgenden Jahren Mais angebaut. In jedem Jahr wurde hierzu eine neue Fläche eingerichtet, um eine Selbstfolge zu vermeiden. Gedüngt wurde der Mais mit der jeweiligen standortsüblichen Menge Stickstoff in Form von Biogasgärresten. Dem Biogasgärrest wurde ein Mineraldüngeräquivalent von 70% beigemessen. Daher wurden an den Versuchsstandorten ganz unterschiedliche Mengen Stickstoff ausgebracht. Im Jahr 2012 reichte die Spanne von 202 kg $N*ha^{-1}$ am Standort Ascha bis 332 kg $N*ha^{-1}$ am Standort Dornburg. Die Gärreste wurden an allen Standorten per Schleppschlauch ausgebracht und anschließend in die oberste Bodenschicht eingearbeitet. Einzige Ausnahme stellte hier der Standort Gülzow dar, an dem das Injektionsverfahren zur Anwendung kam.
Die emittierten Spurengase wurden nach Hutchinson und Mosier (1981) mit Hilfe von statischen Kammern (Kunststoffhauben) aufgefangen und mittels Gaschromatographie detektiert. Die Berechnung der kumulativen Gasaustauschraten erfolgte per Bootstrapping-Verfahren mittels der freien Statistik-Software R unter Berücksichtigung der Flussraten- und Interpolationsfehler.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die Lachgasemissionen waren nach Gärrestapplikation meistens gering (s. Tabelle 1). Da es 2012 in Hohenschulen generell zu keinen düngerinduzierten N_2O-Emissionen kam, war es an diesem Standort nicht möglich die Wirkung des Nitrifikationsinhibitors zu bewerten. An den Standorten Dedelow, Dornburg und Gülzow gelang es jedoch im selben Jahr, die Lachgasemissionen durch den Einsatz von Piadin auf das Emissionsniveau der Kontrollvariante herabzusenken. Am Standort Ascha hingegen kam es zu erheblichen N_2O-Emissionen, die auch durch Piadin nicht signifikant verringert werden konnten. Diese stark erhöhten Emissionen können nicht auf die applizierte Stickstoffmenge zurückgeführt werden, da dieser Standort von allen die geringste Menge an Stickstoff appliziert hatte. Hingegen waren die Emissionen am Standort Dornburg mit der höchsten Menge applizierten Stickstoffs am geringsten.

Auch im Jahr 2013 konnten die N_2O-Emissionen an den Standorten Dedelow und Dornburg mit Hilfe von Piadin beinahe auf das Niveau der nicht gedüngten Kontrolle gesenkt werden. Dies entsprach am Standort Dedelow einer Emissionsminderung um 91%. An den Standorten Ascha und Hohenschulen wurden im selben Zeitraum nur sehr geringe bzw. keine Emissionsminderungen bewirkt. Das Minderungspotential durch den Einsatz von Piadin wurde über alle Standorte und Untersuchungszeiträume hinweg mit 30% bewertet.

Tabelle 3: N_2O-Emissionsminderung durch den Einsatz von Piadin an fünf verschiedenen Standorten in den Jahren 2012 und 2013.

Standort	Versuchsjahr	100% GÄR kg N_2O-N ha^{-1}	100% GÄR + Piadin kg N_2O-N ha^{-1}	Inhibitoreffekt %
Ascha	2012	11,3	10,4	-8
Dedelow		1,6	0,6	-63
Dornburg		0,8	0,5	-39
Gülzow		2,3	0,8	-64
Hohenschulen		0,7	0,6	-18
Ascha	2013	3,8	3,3	-13
Dedelow		5,6	0,5	-91
Dornburg		0,6	0,3	-44
Hohenschulen		1,1	1,2	+6

Die Betrachtung der N_2O-Emissionen im Zeitverlauf zeigen, dass die höchsten Lachgasemissionen innerhalb der ersten zwei Monate nach Gärrestausbringung auftraten. Weitere, ähnlich bedeutsame Zeiträume konnten nicht festgestellt

werden. Die bedeutendsten Emissionspeaks der Gärrestvariante sowie der Piadin-Variante traten meist zeitgleich auf. Nur am Standort Gülzow war festzustellen, dass die Emissionspeaks der Piadin-Variante nicht nur kleiner ausfielen, sondern auch zeitlich deutlich verzögert auftraten, wie es nach der theoretisch verzögerten Umsetzung von Ammonium zu Nitrat zu erwarten ist. Dass dieser Effekt nur am Standort Gülzow auftrat, kann ein Indiz dafür sein, dass durch das hier eingesetzte Injektionsverfahren unter Umständen der Kontakt des Inhibitors zum Gärrest für eine längere Zeit gewährleistet wird, als dies bei oberflächlicher Applikation mit anschließender Einarbeitung der Fall ist.
Bei Betrachtung der klimatischen Einflussfaktoren fällt auf, dass die ersten Starkregenereignisse nach dem Düngeereignis eine große Rolle für die N_2O-Emissionen spielen. Stets folgten die größten Emissionsereignisse solch starken Niederschlägen. Diese ersten Emissionspeaks machten einen Großteil (bis zu 85%) der gesamten jährlichen N_2O-Emissionen aus und waren somit für die Beurteilung des Emissionsminderungspotentials der Nitrifikationsinhibitoren von entscheidender Bedeutung. Den ersten Niederschlägen gingen oftmals Phasen mit einer erhöhten Bodentemperatur voraus. Diese war am Standort Ascha 2012 besonders stark ausgeprägt, wo über einen längeren Zeitraum die Bodentemperatur in 5 cm Bodentiefe über 20°C betrug. Diese hohen Bodentemperaturen können zumindest teilweise die eingeschränkte Wirksamkeit von Piadin bedingt haben, da die Halbwertszeit von Nitrifikationsinhibitoren bei hohen Temperaturen stark herabgesetzt wird.
Der Einsatz des stabilisierten mineralischen Düngers ENTEC wurde ausschließlich am Standort Hohenschulen untersucht. Im ersten Untersuchungszeitraum fielen die N_2O-Emissionen nach Düngung mit ENTEC zwar tendenziell geringer aus als nach einer Düngung mit KAS, waren aber nicht signifikant niedriger. In 2012 blieben die N_2O-Emissionen nach Düngung mit ENTEC auf dem Niveau der nicht gedüngten Kontrollvariante während sie nach Düngung mit KAS deutlich erhöht waren. Die Emissionsminderung durch den Einsatz von ENTEC betrug in dem Jahr über 50%.

Fazit

Der Einsatz von Biogasgärresten ist nicht zwangsläufig mit erhöhten Lachgasemissionen verbunden und stellt somit für den Landwirt eine kostengünstige Alternative zum Einsatz von mineralischen Düngern dar. Das bestehende Restrisiko erhöhter N_2O-Emissionen kann durch den Einsatz von Nitrifikationshemmern deutlich herabgesenkt werden und sollte im Sinne einer möglichst umweltverträglichen Stickstoffdüngung obligatorisch sein. Allerdings haben die Untersuchungen auch die Grenzen der Nitrifikationshemmer aufgezeigt, die

häufig durch das komplexe Zusammenwirken verschiedener Standortsfaktoren (Klima und Boden) bedingt sind.

Literatur

Adler, P. R., Del Grosso, S. J., Parton, W. J. (2007): Life-cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. Ecol. Appl. 17, 675-691.

Adviento-Borbe, M. A. A., Haddix, M. L., Binder, D. L., Walters, D. T., Dobermann, A. (2007): Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. Glob. Change Biol. 13, 1972-1988.

Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., Winiwarter, W. (2008): N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmos. Chem. Phys. 8, 389-395.

Ellis, S., Yamulki, S., Dixon, E., Harrison, R., Jarvis, S. C. (1998): Denitrification and N_2O emissions from a UK pasture soil following the early spring application of cattle slurry and mineral fertilizer. Plant and Soil 202, 15-25.

Hutchinson, G. L., Mosier, A. R. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 311-316.

Jarvis, S. C. (1993), Nitrogen cycling and losses from dairy farms. Soil Use and Management 9, 99-105.

Möller, K., Stinner, W. (2009): Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). Eur. J. Agron. 30, 1-16.

Ruser, R., Schulz, R. (2015): The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N2O) release from agricultural soils—a review. J. Plant Nutr. Soil Sci. 178, 171-188.

Senbayram, M., Chen, R., Mühling, K. H., Dittert, K. (2009): Contribution of nitrification and denitrification to nitrous oxide emissions from soils after application of biogas waste and other fertilizers. Rapid Comm. Mass Spectrom. 23, 2489-2498.

Senbayram, M., Chen, R., Budai, A., Bakken, L., Dittert, K. (2012): N_2O emission and the $N_2O/(N_2O+N_2)$ product ratio of denitrification as controlled by available carbon substrates and nitrate concentrations. Agriculture, Ecosystems and Environment 147, 4-12.

Stehfest, E., Bouwman, A. F. (2006): N_2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 74, 207-228.

Wolf, U., Fuß, R., Höppner, F., Flessa, H. (2014): Contribution of N_2O and NH_3 to total greenhouse gas emission from fertilization: results from a sandy soil fertilized with nitrate and biogas digestate with and without nitrification inhibitor. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 100, 121-134.

Zhu, G., Jha, A. K. (2013): Psychrophilic dry anaerobic digestion of cow dung for methane production; effect of inoculum. Science Asia 39, 500-510.

Ökosystemleistungen - Ein innovatives Konzept für eine standortgerechte nachhaltige Landwirtschaft

Benjamin Burkhard, Marion Kruse und Felix Müller

Institut für Natur- und Ressourcenschutz

Die Abhängigkeit der Menschen von der Natur lässt sich in vielen Bereichen erkennen. Insbesondere menschliche Aktivitäten, die wie Land- und Forstwirtschaft oder Fischerei mit direkten Land- oder Meeresnutzungen verbunden sind, basieren auf komplexen Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt, welche wiederum von diversen funktionsfähigen biotischen und abiotischen Komponenten und deren ökosystemaren Interaktionen abhängen (Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016). Das Konzept der Ökosystemleistungen (ÖSL; englisch: *Ecosystem Services*) stellt einen geeigneten transdisziplinären Rahmen bereit, um derartig komplexe Wechselwirkungen zu erkennen, zu quantifizieren, zu analysieren und schließlich zu bewerten (Grunewald & Bastian 2013).

Das Konzept der Ökosystemleistungen in der Landwirtschaft

Ökosystemleistungen werden in regulierende Leistungen (z.B. Nährstoff- oder Klimaregulierung, Erosionskontrolle), Versorgungsleistungen (z.B. Nahrung, Wasser, Brennstoffe) und kulturelle Leistungen (u.a. Erholung, Landschaftsästhetik) untergliedert[9]. Vor allem die Erfassung und Quantifizierung von Synergien und Zielkonflikten (*Trade-offs*) zwischen der Bereitstellung verschiedener Ökosystemleistungen in unterschiedlichen Landnutzungssystemen stellt wichtige Informationen für das Umweltmanagement und die Landschaftsplanung bereit (Seppelt et al. 2012). Bei entsprechenden Analysen wird ebenfalls deutlich, dass durch die Landwirtschaft nicht nur Nahrung, Futter oder Energie bereitgestellt werden, sondern auch wichtige Beiträge u.a. zur Landschaftsästhetik, Erholung oder Nährstoffregulierung geleistet werden (Huang et al. 2015).

Landwirtschaft basiert dabei allerdings nicht nur auf den natürlichen Potentialen einer Landschaft, Ökosystemleistungen bereitzustellen, sondern wird von zahlreichen anthropogenen Systemeinträgen (z.B. Energie, Dünger, Wasser, Arbeitskraft, Maschinen, Know-how) gesteuert. Dies spiegelt sich in einer neueren

[9] http://cices.eu/ zeigt die aktuelle Ökosystemleistungs-Klassifizierung der Europäischen Umweltagentur.

Definition von Ökosystemleistungen wieder, in der diese als „Beiträge von Ökosystemstrukturen und -funktionen, die - in Kombination mit anderen Beiträgen - das menschliche Wohlergehen fördern“ beschrieben wurden (Burkhard et al. 2012, S. 2).

Standortgerechte Landwirtschaft zielt darauf ab, die natürlichen Potentiale zur Bereitstellung vielfältiger Ökosystemleistungen besser zu nutzen, um so a) die Abhängigkeit (und Kosten) von zusätzlichen Systemeinträgen und b) negative Effekte auf Biodiversität sowie andere Ökosystemfunktionen und -leistungen zu reduzieren. Derartige Effekte würden sich letztendlich auch in entsprechenden Kosten-Nutzenanalysen, die neben direkten Ertragszahlen auch etwaige Externalitäten berücksichtigen müssen, wiederspiegeln.

Angebot und Nachfrage von/nach Ökosystemleistungen

Die Grundlage für die Bereitstellung aller Ökosystemleistungen bildet eine leistungsfähige Natur, welche basierend auf spezifischen Ökosystemstrukturen und –prozessen bestimmte Ökosystemfunktionen ausführen kann. Die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen kann z.B. anhand des Konzeptes der ökologischen Integrität (Müller 2005) beschrieben werden. Die Integrität eines Ökosystems ist eng mit dessen Potential, Ökosystemleistungen bereitzustellen, verbunden. Neben dem natürlichen Ökosystemleistungspotential ist der eigentliche Ökosystemleistungsfluss stark von zusätzlichen anthropogenen Systemeinträgen abhängig. In vielen Fällen wird der Fluss von Ökosystemleistungen von der Natur zur Gesellschaft überhaupt erst durch die zusätzlichen Einträge aktiviert.

Der gesellschaftliche Nutzen, der zum sozialen, ökonomischen und persönlichen Wohlergehen beiträgt, ergibt sich aus dem Fluss (die tatsächliche Nutzung) einer Vielzahl von Regulations-, Versorgungs- und kulturellen Ökosystemleistungen. Aus der Gesellschaft heraus ergeben sich somit Nachfragen nach bestimmten Ökosystemleistungen. Diese Nachfragen, einschließlich der Defizite oder Überangebote bestimmter Ökosystemleistungen, spiegeln sich i.d.R. in entsprechenden Landnutzungen wieder, welche den Nachfragen nach Ökosystemleistungen entsprechen sollten. Angebots- und Nachfragekreisläufe finden auf verschiedenen raumzeitlichen Ebenen statt und können beispielsweise durch entsprechende Ökosystemleistungs-Im- und –Exporte erhalten werden. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die entsprechenden Interaktionen in komplexen Mensch-Umweltsystemen.

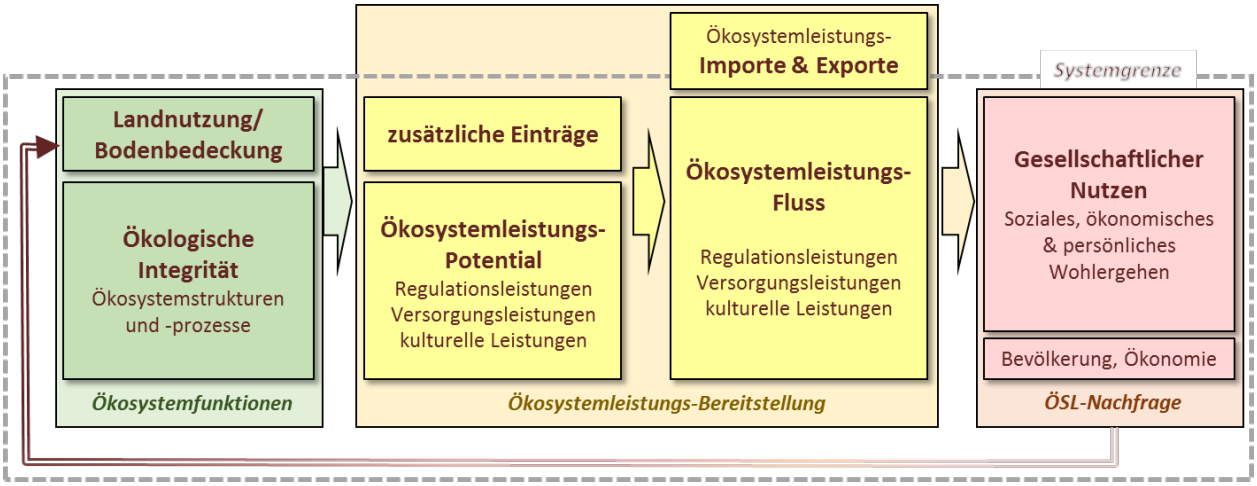


Abbildung 1: Konzeptmodell komplexer Mensch-Umweltsysteme (nach Burkhard et al. 2014).

Natürliche Landschaftspotentiale *vs.* anthropogene Systemeinträge

Bei den zusätzlichen Systemeinträgen handelt es sich um „nicht-ökosystembasierte anthropogene Beiträge zur Ökosystemleistungs-Bereitstellung, z.B. Dünger, Energie, Pestizide, Technik, Arbeitskraft oder Wissen in anthropogen beeinflussten Landnutzungssystemen“ (Burkhard et al. 2014, S. 5). Der Vergleich unterschiedlicher Landnutzungssysteme basierend auf dem Verhältnis von natürlichem Ökosystemleistungspotential zu zusätzlichen Einträgen an der Ökosystemleistungsgenerierung macht die Unterschiede deutlich.

Abbildung 2 vergleicht ein naturbelassenes System mit einem Intensivagrarland sowie einem standortgerecht (ÖSL-basiert) bewirtschaftetem Agrarland. Neben den Unterschieden zwischen zusätzlichen Einträgen und naturbasierten Standortpotentialen sind hier auch beispielhafte Zielkonflikte (*Trade-offs*) zwischen ausgewählten Ökosystemleistungen dargestellt (nach Foley et al. 2005).

Zielkonflikte entstehen i.d.R. immer dann, wenn die Bereitstellung bestimmter Ökosystemleistungen auf Kosten anderer Ökosystemleistungen maximiert wird. Dies kann entweder, wie im Falle der Landwirtschaft, aufgrund bewusster Managemententscheidungen erfolgen, kann aber auch mehr oder weniger unbewusst geschehen (Rodríguez et al. 2005). Synergien entstehen hingegen, wenn die Bereitstellung mehrerer Ökosystemleistungen gleichzeitig gesteigert wird,

was das Ziel multifunktionaler Landnutzung sein sollte. Es ist jedoch nicht möglich, alle Ökosystemleistungen gleichzeitig zu maximieren (Seppelt et al. 2012).

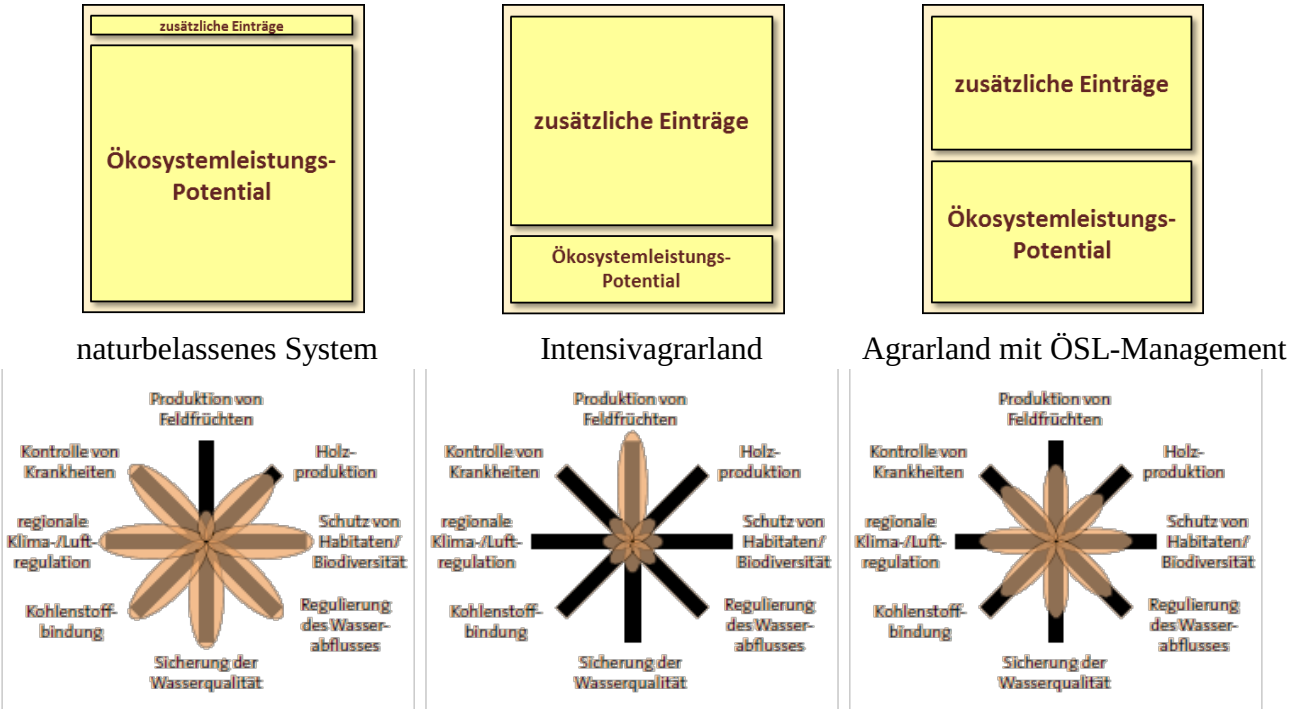


Abbildung 2: Vergleich der Systemeinträge (oben) und Ökosystemleistungs-*Trade-offs* (unten; aus Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016) eines naturbelassenen Systems (links) mit einem Intensivagrarland (Mitte) und einem Agrarland mit Ökosystemleistungs-Management (rechts).

Zeitliche Aspekte der Ökosystemleistungsbereitstellung

Die Bereitstellung von Ökosystemleistungen unterliegt natürlichen sowie anthropogen bedingten zeitlichen Schwankungen. Diese treten besonders deutlich in Agrarökosystemen und den jährlichen Saat-Wachstum-Ernte-Zyklen zutage. Basierend auf dem Konzeptmodell zu Ökosystemleistungspotentialen und –flüssen (Abbildung 1) lassen sich die Jahresgänge der einzelnen Ökosystemleistungsbereitstellungskomponenten gut erläutern.

Mit dem Beginn der Wachstumsperiode im Frühjahr steigt das Potential für die Versorgungsökosystemleistung ‚Nahrung aus Pflanzen' allmählich an. Ein Fluss (die eigentliche Nutzung durch den Menschen) der Ökosystemleistung ist jedoch noch nicht vorhanden (siehe Abbildung 3 links). Bei der Ernte im Spätsommer/Herbst steigt der Fluss dann kurzzeitig auf ein Maximum an, während

das Potential der Ökosystemleistung schlagartig durch die Entnahme der Pflanzenbiomasse reduziert wird. Bis zum Beginn der nächsten Wachstumsperiode verharren Ökosystemleistungsfluss und –potential auf einem nicht relevanten Niveau. Derartige Zyklen sind charakteristisch für Agrarlandschaften und wiederholen sich in der Regel jährlich (siehe Abbildung 3 rechts) bzw. abhängig von Kultur und Region mehrmals jährlich oder längerfristig (bei mehrjährigen Kulturen oder Forsten).

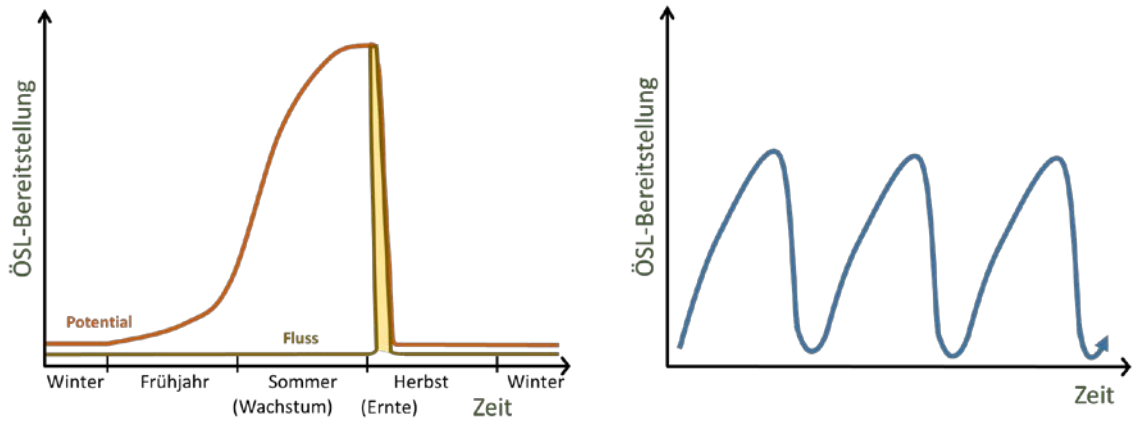


Abbildung 3: Jährliche Dynamiken von Ökosystemleistungs-Potential und –Fluss, beispielhaft für eine Monokultur Sommer-Annuelle (z.B. Weizen) und die Versorgungs-ÖSL ‚Nahrung aus Pflanzen' (links; nach Burkhard et al. 2014) und langfristige Dynamiken der charakteristischen ÖSL-Bereitstellung in Agrarökosystemen (rechts).

Für die Quantifizierung und Bewertung von Agrarökosystemleistungen ist es daher äußerst relevant, den entsprechenden Zeitpunkt für die Erfassung zu wählen bzw. Zeitskalen zu verwenden, in denen entsprechende Dynamiken erfasst werden können (Pflanzzyklen, Jahresmittelwerte). Die Bereitstellung der einzelnen regulierenden Versorgungs- und kulturellen Ökosystemleistungen erfolgt in unterschiedlichen zeitlichen Dynamiken, die jedoch oftmals, ähnlich zum o.g. Beispiel, charakteristische Muster aufweisen.

Räumliche Aspekte der Ökosystemleistungsbereitstellung

Die Bereitstellung von Ökosystemleistungen ist einerseits abhängig von Ökosystemstrukturen und –prozessen, welche die Basis für bestimmte Ökosystemfunktionen bilden. Dies führt, neben den o.g. zeitlichen Dynamiken, zu räumlichen Heterogenitäten in der Bereitstellung von Ökosystemleistungen. Andererseits unterliegen die meisten vom Ökosystem bereitgestellten Güter weiteren

Verarbeitungs- und Transportprozessen. Der Raum der Bereitstellung einer Ökosystemleistung wird als ‚*Service Providing Unit*' SPU bezeichnet (Burkhard et al. 2014).

In Agrarökosystemen kann beispielsweise ein Feld, Feldblock oder Betrieb die SPU darstellen. Der Landwirt aktiviert durch seine Arbeit (unter Nutzung von Maschinen, Energie, Know-how – s.o.) den Fluss der Ökosystemleistung, indem die pflanzliche Biomasse vom Feld geerntet wird. Die meisten Produkte durchlaufen anschließend einen mehr oder weniger komplexen Weg des Handels und der Veredelung, bevor sie schließlich beim Konsumenten (Ökosystemleistungsnachfrage) ankommen (siehe Abbildung 4). Zum Ausgleich des Ökosystemleistungsflusses sind i.d.R. entsprechende Rückflüsse von Geld, Gütern oder anderen Leistungen erforderlich. Die Direktvermarktung von Agrarprodukten durch den Landwirt an den Konsumenten kann hierbei eine „Abkürzung" darstellen.

Komplexe Ströme von Agrarprodukten mit verschiedenen Zwischenhändlern und Transportwegen verursachen Kosten und erhöhen damit i.d.R. den Preis für das jeweilige Produkt. Die Frage, ob mit zunehmenden Kosten auch eine Wertsteigerung des Produktes einhergeht bzw. ob das Produkt tatsächlich der gesellschaftlichen Nachfrage entspricht, scheint oftmals entkoppelt von natürlichen Ökosystemprozessen zu erfolgen bzw. unterliegt eher bestimmten Marktmechanismen.

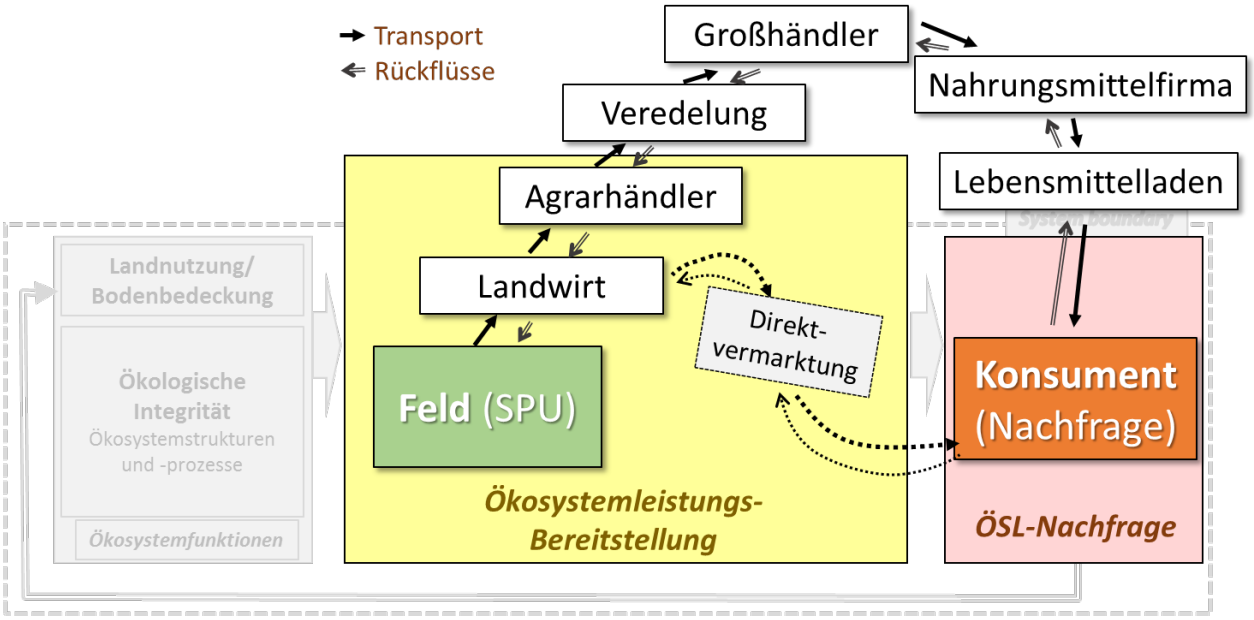


Abbildung 4: Ökosystemleistungs-Produktionskette von der ‚*Service Providing Unit*' Feld bis zum Konsumenten, Beispiel Versorgungs-ÖSL ‚Nahrung aus Pflanzen' anhand des Konzeptmodells in Abbildung 1 (nach Burkhard et al. 2014).

Schlussfolgerungen: Anwendungspotentiale in der Landwirtschaft

Die Nutzung moderner Technologien und umfangreicher Datensätze im Rahmen des ‚*Precision farming*' trägt bereits heute zu einer flächenscharfen standortgerechten Landwirtschaft bei. In Kombination mit interdisziplinärem Wissen und Methoden aus den Natur- und Sozialwissenschaften zur Funktionsweise und Dynamik von komplexen Mensch-Umweltsystemen kann eine modernere Landnutzung gestaltet werden. „Landwirtschaft 4.0" sollte dabei einerseits die Funktionalitäten (und Grenzen) der ökologischen als auch der sozioökonomischen Teilsysteme verstehen und nachhaltig zu nutzen lernen. Hier können Ökosystemleistungen mit den oben beschriebenen Aspekten einen wichtigen Beitrag leisten, da Ökosystemleistungen sowohl den geeigneten konzeptionellen als auch methodischen Rahmen bereitstellen, der alle wichtigen Teildisziplinen bereits interdisziplinär integriert.

Das entsprechende Erkennen, Erfassen, Quantifizieren und Bewerten von Ökosystemleistungen trägt zum besseren Verständnis der Abhängigkeiten der Gesellschaft von Ökosystemprozessen und –strukturen bei. Flächenhafte Modellierungen und Kartierungen sind sinnvoll, um die einzelnen Elemente der Ökosystemleistungsbereitstellung und –nachfrage entsprechend lokalisieren zu können.

So können Standortpotentiale erkannt und besser genutzt werden, um Empfehlungen für standortgerechte Landnutzungen entwickeln zu können. Eine bessere Nutzung der natürlichen Ökosystemleistungspotentiale trägt dazu bei, die zusätzlichen anthropogenen Einträge, die zur Generierung vieler Agrarökosystemleistungen notwendig sind, zu reduzieren. Erfassungen von tatsächlichen Nachfragen nach einzelnen Agrarökosystemleistungen können zu einer bedarfsgerechteren Produktion sowie zur Vermeidung von Überproduktionen beitragen. Die Verringerung von notwendigen zusätzlichen Systemeinträgen und die Vermeidung von Überproduktion führen oftmals zu einer Verbesserung der Kosten-Nutzenbilanzen in Agrarbetrieben. Hinzu kommt die Verminderung negativer Auswirkungen auf die Umwelt und die Artenvielfalt, beispielsweise durch die Reduktion von Düngereinträgen oder entsprechend bodenschonende Bearbeitungsmethoden.

Das oben genannte interdisziplinäre Integrations- und Erklärungspotential kann auch als Ursache für die enorme Popularität des Ökosystemleistungskonzeptes in der Wissenschaft (Seppelt et al. 2012) sowie das stetig zunehmend Interesse von Politik und Entscheidungsfindung gelten. Prominente Beispiele hierfür sind die EU Biodiversitätsstrategie[10] von 2011 oder ein entsprechendes Memorandum der US- Regierung zur Integration von natürlicher Infrastruktur und Ökosystemleistungen in staatliche Entscheidungsfindung[11] von 2015. In der EU Biodiversitätsstrategie spielen neben Biodiversität auch Ökosystemleistungen eine sehr große Rolle, da sie als Basis für menschliches Wohlergehen und wirtschaftlichen Erfolg erkannt wurden. Im Ziel 2 Maßnahme 5 der Strategie werden alle EU Mitgliedsstaaten unter anderem dazu aufgefordert, ihre Ökosysteme und deren Leistungen zu kartieren. Zur Unterstützung der einzelnen EU Mitgliedsstaaten bei der Umsetzung der Maßnahme wurde im Jahr 2015 das Horizon 2020 Verbundprojekt ESMERALDA[12], das an der A & E - Fakultät der CAU koordiniert wird und insgesamt 25 Projektpartner aus 20 europäischen Ländern vereint, gestartet.

In den an das Projekt angegliederten Fallstudien werden Ökosystemleistungen anhand verschiedener Methoden (u.a. Modellierungen, Statistiken, Befragungen) von lokal-regionalen (z.B. Bornhöveder Seenkette bei Kiel; Kandziora et al. 2013) über die Landesebene Schleswig-Holsteins bis zur nationalen Ebene untersucht, quantifiziert, kartiert und bewertet. Zahlreiche Datensätze unterschiedlicher Fachbereiche stehen zur Verfügung, um Veränderungen der ver-

[10] http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/2020.htm
[11] https://www.whitehouse.gov/blog/2015/10/07/incorporating-natural-infrastructure-and-ecosystem-services-federal-decision-making
[12] http://esmeralda-project.eu/

gangenen Jahrzehnte zu beschreiben und deren Einfluss auf die Bereitstellung und Nachfrage von Ökosystemleistungen (z.B. Grünlandrückgang) zu untersuchen. Die generierten Erkenntnisse, Methoden und Daten zu Biodiversität und Ökosystemleistungen werden mit Sicherheit auch Auswirkungen auf die zukünftige gemeinsame Agrarpolitik der EU haben, um geeignete Steuerinstrumente für die Implementierung der Landwirtschaft 4.0 zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

Burkhard, B.; de Groot, R.; Costanza, R.; Seppelt, R.; Jørgensen, S.E. & M. Potschin 2012. Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services. - *Ecological Indicators* 21, 1–6.

Burkhard, B.; Kandziora, M.; Hou, Y. & F. Müller 2014. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands - Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. - *Landscape online* 34: 1-32.

Foley, J.A.; DeFries, R.; et al., 2005. Global consequences of land use. - *Science* 309, 570–574.

Grunewald, K. & O. Bastian 2013. Ökosystemdienstleistungen. Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Springer-Spektrum, Berlin, Heidelberg.

Huang, J; Tichit, M.; Poulot, M.; Darly, S.; Li, S.; Petit, C. & C. Aubry 2015. Comparative review of multifunctionality and ecosystem services in sustainable agriculture. - *Journal of Environmental Management* 149 (1), 138–147.

Kandziora, M.; Burkhard, B. & F. Müller 2013. Mapping provisioning ecosystem services at the local scale using data of varying spatial and temporal resolution. - *Ecosystem Services* 4, 47-59.

Müller, F. 2005. Indicating ecosystem and landscape organisation. - *Ecological Indicators* 5 (4), 280–294.

Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016. Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirschaftliche Entwicklung. Schlussfolgerungen für Entscheidungsträger. Leibniz Universität Hannover, Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig.

Rodríguez, J.; Beard Jr., T.; Bennett, E.; Cumming, G.; Cork, S.; Agard, J.; Dobson, A., & G. Peterson 2006. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. - *Ecology and Society* 11, 28.

Seppelt, R.; Fath, B.; Burkhard, B.; Fisher, J.L.; Grêt-Regamey, A.; Lautenbach, S.; Pert, P.; Hotes, S.; Spangenberg, J.; Verburg, P.H. & A.P.E. van Oudenhoven 2012. Form follows function? Proposing a blueprint for ecosystem service assessments based on reviews and case studies. - *Ecological Indicators* 21, 145–154.

Erfolge und Hindernisse auf dem Weg zur Züchtung von Winterzuckerrüben

Christian Jung

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Einleitung

Winterzuckerrüben werden vor Winter gesät und im zweiten Jahr geerntet. Die züchterische Bearbeitung derartiger Genotypen erfordert völlig neue Ansätze zur Bewertung und Erzeugung genetischer Variation. Der wesentliche Grund besteht darin, dass die Zuckerrübe (*Beta vulgaris* L.) eine zweijährige Art ist, die vor Winter vegetativ wächst und nach Winter mit dem Schossen beginnt. Da das Schossen während der Rübenproduktion unbedingt vermieden werden muss, sind herkömmliche Genotypen für den Anbau von Winterrüben unter unseren Klimabedingungen nicht zu gebrauchen. Die Erzeugung von Winterrüben setzt also eine komplette Änderung der phänologischen Entwicklung der Pflanze voraus. Genetische Variabilität ist allerdings im Genpool der Kulturrüben nicht zu erwarten.

Die zweite Herausforderung besteht darin, die Winterhärte der Zuckerrübe auf ein Niveau zu heben, das ein Überstehen zumindest moderater Winter in Nord- und Westdeutschland erwarten lässt. Während dieser Themenkomplex bereits in einem Vortrag anlässlich der Hochschultagung 2010 ausführlich betrachtet worden ist, wurde über Arbeiten zur Aufklärung der phänologischen Entwicklung von Zuckerrüben bisher auf dieser Veranstaltung wenig berichtet. Aus diesem Grund wird der Schwerpunkt dieses Beitrages auf den genetischen Grundlagen der Schoss- und Blühregulation bei Zuckerrüben liegen.

Die Versuche, die am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung in Kooperation mit dem Institut für Zuckerrübenforschung (Göttingen) und der Firma Strube Research (Söllingen) durchgeführt worden sind, haben gezeigt, dass der beste Aussaattermin für Winterrüben etwa Mitte bis Ende August ist. Dies erlaubt eine ausreichende Jugendentwicklung mit einer akzeptablen Widerstandskraft gegen Frost. Für diese Versuche wurden neben der Zuckerrübe die beiden eng verwandten Kulturformen Rote Bete und Mangold sowie ältere Futterrübensorten verwendet. Um die gesamte Vielfalt in der Art *Beta vulgaris* abschätzen zu können, wurde auch eine Kollektion von Wildformen der Art *Beta vulgaris* subsp. *maritima* angebaut. Wie zu erwarten zeigten diese Formen eine

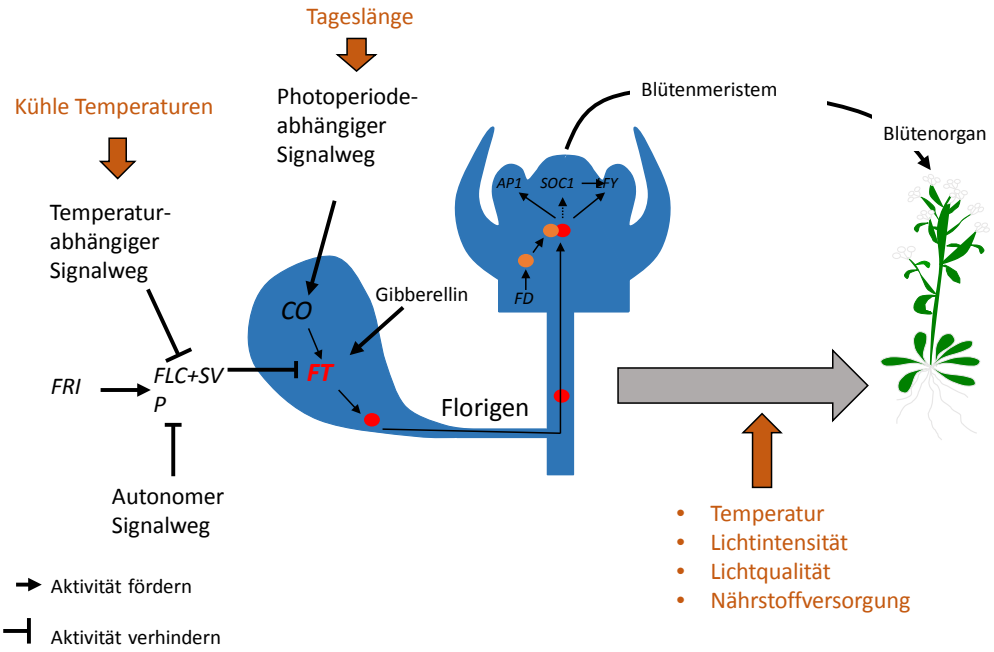
sehr große Variabilität von mangelnder bis sehr guter Winterhärte (Kirchhoff, Svirshchevskaya et al. 2012).
Der Grund, warum seit einigen Jahren reges Interesse an Winterrüben herrscht, liegt darin, dass Winterrüben ein deutlich höheres Ertragspotential als herkömmliche Zuckerrüben haben. Dies ist dadurch begründet, dass die Pflanzen bereits im Frühjahr bei entsprechend günstigen Temperaturen Fotosynthese betreiben und Assimilate produzieren können. Insgesamt haben Winterrüben eine deutlich größere Blattmasse, die zu einer höheren fotosynthetischen Leistung führen. Schätzungen lassen einen Ertragszuwachs von 25 – 30 % gegenüber Zuckerrüben erwarten (Hoffmann and Kluge-Severin 2010). Allerdings ist zu bedenken, dass dies nur unter idealen Bedingungen zu realisieren sein wird. Dazu gehören relativ milde Winter oder eine Schneebedeckung, die die Pflanzen vor sehr strengem Frost schützt. Weiterhin müssen neue Konzepte für die Bekämpfung von Krankheiten, insbesondere Blattkrankheiten, erarbeitet werden. Es ist zu erwarten, dass der Befall mit Schaderregern vor Winter starke Schäden verursachen kann. Ein weiterer großer Vorteil würde sich aus der verlängerten Ernteperiode ergeben. Es wird erwartet, dass Winterrüben deutlich früher geerntet werden können. Dies würde die wirtschaftliche Vorzüglichkeit des Rübenanbaus in Europa erhöhen, indem die Auslastung der Zuckerfabriken verbessert wird. Daher besteht in der Zuckerwirtschaft durchaus großes Interesse an Winterrüben.

Die phänologische Entwicklung von *Beta*-Arten

Die Zuckerrübe gehört mit ihren verwandten Arten zur Gattung *Beta*, die wiederum zur Familie der Amaranthaceae gezählt wird. Beta-Arten sind im Mittelmeerraum und an den Küsten West- und Nordeuropas verbreitet. Als engste Verwandte gilt die Wildart *Beta vulgaris* subsp. *maritima*. Da es sich um die gleiche Art handelt, können leicht fertile Hybride erzeugt werden und so Gene aus der Wildart in die Kulturform überführt werden. Aus diesem Grund werden auch Wildformen in die aktuellen Arbeiten zur Aufklärung der phänologischen Entwicklung der Zuckerrübe einbezogen.
Die Arbeiten begannen in einer Zeit, als eine Referenzsequenz des Zuckerrüben-Genoms noch nicht verfügbar war. Dabei handelt es sich um eine mehr- oder weniger vollständige und vollständig annotierte Sequenz des Kerngenoms, wie sie heute für die meisten wichtigsten Kulturarten frei verfügbar ist. So wurde zunächst begonnen, nach exprimierten Sequenzen zu suchen, die Homologie zu bekannten Blühgenen des Modellorganismus *Arabidopsis thaliana* aufweisen. Diese Pflanze ist heute das Modell für die Pflanzenforschung, weil sie nicht nur über ein sehr kleines Genom verfügt, sondern auch sehr leicht zu bearbeiten ist (kurze Generationenfolge). So wurden heute die wesentlichen Gene, die für

die Überführung einer Pflanze von der vegetativen in die generative Phase nötig sind, in *Arabidopsis thaliana* kloniert (Abbildung 1). Tatsächlich nimmt die Pflanze Signale aus der Umwelt auf, um danach Gene zu aktivieren, die schließlich zur Blütenbildung führen. Bei den wesentlichen Umweltsignalen handelt es sich um die Temperatur (vor allem kühle Temperaturen) und die Lichtdauer (Tageslänge). Die Pflanzen verfügen über ein erstaunliches Anpassungsvermögen an wechselnde Umweltbedingungen. So können sie sehr flexibel auf wechselnde Temperaturen und Tageslänge reagieren. Dies ermöglicht es ihnen, in unterschiedlichen geografischen Breiten und unter unterschiedlichen Klimabedingungen zu wachsen. Die Anpassungsfähigkeit wird vor allem dadurch bedingt, dass sehr viele Gene für die phänologische Entwicklung verantwortlich sind, so dass Mutationen in einzelnen Genen eine Feinabstimmung als Reaktion auf schwankende Umweltbedingungen ermöglichen. Die Abbildung 1 zeigt eine stark vereinfachte Darstellung der wesentlichen Gene, die an der Umstellung von der vegetativen in die generative Phase beteiligt sind. Wie wir heute wissen, sind einige dieser Gene zwischen den Blütenpflanzen hoch konserviert, so z. B. die Gene *CONSTANS* und *FLOWERING LOCUS T* (*FT*). Die Aktivierung des *FT*-Gens hat die Umstimmung des apikalen Meristems einer Pflanze in ein Blütenmeristem zur Folge. Dies führt dazu, dass weitere Gene angeschaltet werden, die für die Ausprägung der Blütenorgane verantwortlich sind. Dieser wesentliche Schritt wird durch ein Genprodukt bewerkstelligt, welches im Blatt produziert wird und durch die Leitungsbahnen in das apikale Meristem translozierт wird. Dieser schon vor 80 Jahren postulierte Blühstimulus „Florigen“ wurde vor etwa 10 Jahren bei Arabidopsis erstmals molekular identifiziert.

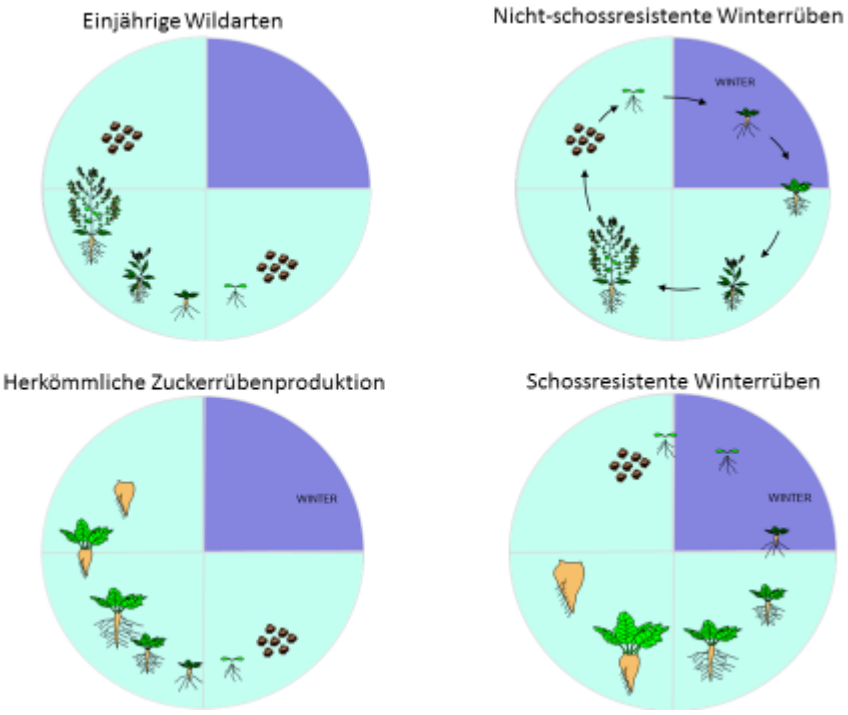
Abbildung 1: Grundzüge der Blühinduktion bei *Arabidopsis thaliana* (verändert nach (Andrés and Coupland 2012).



Die phänologische Entwicklung der Zuckerrübe

Wir haben Anbauversuche mit Kultur- und Wildformen der Art *Beta vulgaris* durchgeführt, um deren phänologische Entwicklung zu studieren. Diese Arbeiten fanden im Freiland vor und nach Winter sowie im Gewächshaus in der Klimakammer statt. Zuckerrüben sind zweijährige Arten, die nach einer längeren Phase kalter Temperaturen (4° C und weniger) vernalisiert werden, d.h. in die generative Phase überführt werden (Abbildung 2). Es gibt aber ein Gen (*B*), dessen dominantes Allel *B* dazu führt, dass eine Zuckerrübe bereits wenige Wochen nach der Aussaat im Frühjahr (also unter Langtagsbedingungen) anfängt zu schossen. Dagegen ist das Allel in einjährigen Wildarten, die eng mit der Zuckerrübe verwandt sind, weit verbreitet. Das „frühe Schossen“ ist ein extrem negatives Merkmal und entsprechend haben Züchter seit Beginn der Rübenzüchtung vor etwa 200 Jahren massiv dagegen selektiert. Die Ausgangslage unserer Arbeiten war also, dass das rezessive Allel des Schossgens *b* in allen Zuckerrüben fixiert sein muss, während in den Wildarten häufig, besonders im südlichen Europa, das dominante Allel fixiert ist.

Abbildung 2: Lebenszyklen von Kultur- und Wildarten der Gattung Beta.

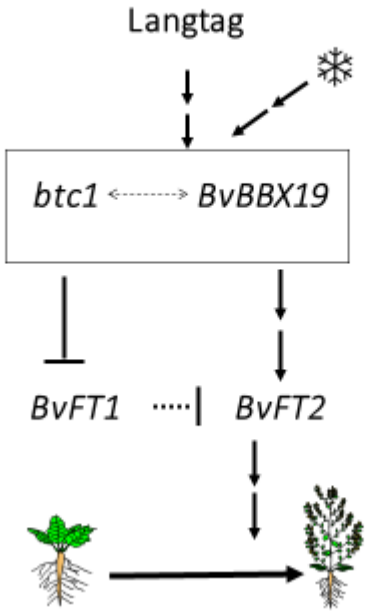


Wir haben vor einigen Jahren das entsprechende Gen *BTC1* am *B*-Locus identifiziert, welches für das frühe Schossen verantwortlich ist (Pin, Zhang et al. 2012). Es ist ein Transkriptionsfaktor mit Ähnlichkeit zu einem Pseudo-Response Regulator (PRR)-Gen aus Arabidopsis. Wir konnten zeigen, dass Mutationen innerhalb dieses Gens einen drastischen Einfluss auf die phänologische Entwicklung haben, so dass aus einer einjährigen eine zweijährige Zuckerrübe entstehen kann. Wir konnten weiterhin zeigen, dass alle Zuckerrüben hinsichtlich des rezessiven Allels fixiert sind. Im Gegensatz dazu herrscht am *B*-Locus große Variabilität in den Wildformen. Dies erklärt ihre unterschiedliche phänologische Entwicklung von einjährigen über zweijährigen bis zu mehrjährigen (perennierenden) Formen.

Allerdings war klar, dass das B-Gen nicht das einzige Gen ist, welches das Schossen bei Rüben steuert. So haben wir Mutationsversuche durchgeführt, um neue Variabilität für frühes Schossen bei Zuckerrüben zu erzeugen. Dazu wurde ein früh schossender Genotyp mit einem Mutagen (EMS) behandelt, was dazu führte, dass eine Reihe von Mutationen in verschiedenen Schossgenen auftrat. Diese wurden genetisch charakterisiert, d.h. ihre Position auf dem Zuckerrübenchromosom wurde lokalisiert. So wurde ein weiterer bedeutender Locus für die phänologische Entwicklung (*B2*) gefunden, welcher auf Chromosom 9 der Zuckerrübe liegt. Eine Mutation in diesem Gen führt ebenfalls dazu, dass eine früh schossende Zuckerrübe nur noch nach Vernalisation schossen kann. Für die Klonierung dieses Gens stand inzwischen eine Referenzsequenz des Zucker-

rübengenoms zur Verfügung, so dass direkt nach Sequenzen innerhalb des *B2*-Locus gesucht werden konnte. Das Ergebnis war die Klonierung eines neuartigen Blühregulators *BvBBX19*, bei dem es sich ebenfalls wie *BTC1* um einen Transkriptionsfaktor handelt (Dally, Xiao et al. 2014). Weitere Versuche ergaben, dass die beiden Genprodukte (Proteine) BTC1 und BvBBX19 offensichtlich interagieren, um die stromabwärts gelegenen Blühregulatoren *BvFT1* und *BvFT2* transkriptionell zu kontrollieren (Abbildung 3). Wir postulieren also ein Modul aus *BTC1* und *BvBBX19*, welches indirekt auf kühle Temperaturen (also Winter) und Langtagsbedingungen reagiert und zur Aktivierung des Blühaktivators *BvFT2* führt. Umfangreiche Arbeiten zur Genexpression haben gezeigt, dass der Blührepressor *BvFT1* in einjährigen Mutanten transkriptionell aktiv ist und somit das Schossen verhindert. Umgekehrt ist der Blühaktivator *BvFT2* in diesen Mutanten abgeschaltet.

Abbildung 3: Ein vereinfachtes Model für die Schossinduktion bei Zuckerrüben nach Vernalisation. *BvFT1* ist ein Blührepressor, *BvFT2* ein Blühinduktor.



Schossen nach Winter

Im Zuge unserer Untersuchung stießen wir auch auf zwei Rübengenotypen, die auch nach Winter nicht oder nur sehr stark verzögert schossen. Dies war überraschend, weil Züchter üblicherweise auf frühes Schossen nach Winter selektiert haben. Andernfalls wäre die Saatgutproduktion nämlich stark erschwert. Die Arbeiten der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Eigenschaft „Nicht-Schossen-nach Winter“ oder kurz gesagt „nie-schossend“ zum Teil genetisch kontrolliert

wird. Allerdings handelt es sich nicht wie bei *B* und *B2* um einzelne Gene, die die phänotypische Varianz vollständig erklären, sondern um ein quantitatives Merkmal, welches durch eine unbekannte Zahl von Genen bestimmt wird. Ein quantitativer Locus (QTL) konnte auf Chromosom 9 lokalisiert werden. Dieser Locus erklärt immerhin 65 % der phänotypischen Varianz (Pfeiffer, Tränkner et al. 2014). Das dominante *BR1*-Allel führt dazu, dass ein hoher Anteil der Pflanzen nicht in der Lage ist, nach Winter zu schossen. Da allerdings auch homozygote Genotypen (*BR1BR1*) in schossende und nicht schossende Pflanzen spalten, lässt sich der Effekt des Allels nicht allein durch Sequenzvariationen erklären. Eine Vermutung liegt darin, dass epigenetische Modifikationen hier ebenfalls eine Rolle spielen. Zurzeit sind wir dabei, das verantwortliche Gen am *BR1* Locus zu klonieren.

Wie können nicht-schossende Winterüben erzeugt werden?

Die beiden von uns klonierten Gene *BTC1* und *BvBBX19* eröffnen interessante Perspektiven für die Erzeugung nicht-schossender Winterrüben. So ist es gelungen, durch Ausschalten des *BTC1*-Gens Zuckerrüben zu erzeugen, die auch nach Winter nicht mehr in der Lage sind zu schossen. Wir wissen also, dass der komplette Verlust der Genaktivität zu nicht-schossenden Winterrüben führen kann. Dies wurde durch Abschalten des Gens mittels RNAi erreicht, einer gentechnischen Methode, die zu einer *de jure* gentechnisch veränderten Pflanze führt. Derartige Pflanzen sind aber zurzeit in Deutschland aufgrund politischer Widerstände nicht zu vermarkten. Somit ist der Züchtung der Weg zu einer gentechnisch veränderten Winterrübe verwehrt.

Ob die Erzeugung nie-schossender Zuckerrüben auch ohne RNAi möglich ist, ist zurzeit Gegenstand der Untersuchungen am Institut. Dies könnte durch die Kombination von mutierten Allelen an den beiden Schossloci *B* und *B2* möglich sein. In diesem Fall würden zwei Mutanten miteinander gekreuzt, um eine nie-schossende Hybride zu erzeugen. Nie-schossend bedeutet, dass sie nach Winter erst sehr viel später (frühestens ab Juli) schossen würden. Denkbar ist auch eine Kombination dieser Mutanten mit einer *BR1*-Mutation, die zu einer weiteren Schossverzögerung führen könnte. Das Problem besteht darin, einen Ausgleich zwischen der erwünschten Eigenschaft „nie-schossend“ und einer ausreichenden Schossneigung zur Erzeugung von Saatgut zu schaffen. Dies ist in jedem Fall wesentlich aufwendiger und langwieriger als das oben skizzierte gentechnische Verfahren. Die Untersuchungen der nächsten Jahre müssen zeigen, ob dies zu praxisrelevanten Prototypen für die Winterrübenzüchtung führen kann.

Danksagung

Diese Arbeiten werden gefördert durch das BMELV, das BMBF, die DFG, das Zukunftsprogramm Wirtschaft Schleswig-Holstein und Strube Research GmbH & Co KG und erfolgen in Zusammenarbeit mit dem IfZ Göttingen.

Literatur

Andrés, F. and G. Coupland (2012). "The genetic basis of flowering responses to seasonal cues." Nature Reviews Genetics **13**: 627-639.

Dally, N., K. Xiao, et al. (2014). "The *B2* flowering time locus of beet encodes a zinc finger transcription factor." Proceedings of the National Academy of Science USA **111**: 10365-10370.

Hoffmann, C. and S. Kluge-Severin (2010). "Light absorption and radiation use efficiency of autumn and spring sown sugar beets." Field Crops Research **119**.

Kirchhoff, M., A. Svirshchevskaya, et al. (2012). "High degree of genetic variation of winter hardiness in a panel of *Beta vulgaris* L." Crop Science **52**: 179-188.

Pfeiffer, N., C. Tränkner, et al. (2014). "Genetic analysis of bolting after winter in sugar beet *(Beta vulgaris* L.)." Theoretical and Applied Genetics **127**: 2479-2489.

Pin, P., W. Zhang, et al. (2012). "The Role of a Pseudo-Response Regulator Gene in Lifecycle Adaptation and Domestication of Beet." Current Biology **22**: 1095.

Biogasausbeute von Zuckerrüben – effizienter als Mais?

Susanne Ohl

Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik

Einleitung

Laut den Statistiken der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR, 2015) gab es im Jahr 2015 deutschlandweit 8.005 Biogasanlagen. Nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) machten 52 % des massebezogenen Substrateinsatzes aus, der Anteil von Exkrementen wie Gülle und Mist betrug 43 %. Wie bereits in den vorangegangen Jahren war der Maisanteil an den Nawaro mit 73 % sehr hoch, gefolgt von Grassilage (12 %) und Getreide-GPS (7 %). Der Zuckerrübenanteil am Substratmix war mit 2 % nach wie vor gering, 2010 betrug er lediglich 1 % (FNR, 2011). Dabei berichteten gerade in dieser Zeit Anlagenbetreiber begeistert von ihren ersten Erfahrungen mit der Zuckerrübe als Co-Substrat. Allerdings fehlten weitgehend geeignete und durchsatzstarke technische Lösungen zur Reinigung bzw. zum Entsteinen sowie gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse zu Konservierungsverlusten und Fermentationsverhalten.

Deshalb war das Ziel des hier vorgestellten Teilprojektes „Konservierung und Nutzung von Winterrüben“ zu a) die Ermittlung des Methanertrages und der Fermentationseigenschaften von Winter- und Zuckerrüben und zu b) die Untersuchung ihrer Konservierbarkeit und Konservierungsqualität. Als Material für die Untersuchungen standen Winterzuckerrüben (WR) bzw. Zuckerrüben (ZR) aus dem BMBF-Verbundvorhaben „Winterrübe als Energiepflanze“ zur Verfügung, die von 2009 bis 2012 an drei Standorten (Kiel, Göttingen, Harz) in Parzellenversuchen angebaut worden waren.

Neben den erzielbaren Methanerträgen standen weitere Fragestellungen im Fokus: Gibt es Sortenunterschiede? Wie beeinflusst die Qualität den Methanertrag? Was ist der geeignete Erntezeitpunkt für Winterrüben? Lassen sich Winterrüben silieren? Wie hoch sind die Silierverluste? Welche Flächenerträge können erzielt werden? Zum Vergleich für alle Untersuchungen dienten herkömmlich angebaute Zuckerrüben. Für Zuckerrüben wurde zusätzlich in Zusammenarbeit mit der KWS Saat SE und der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein ein Lagerungsversuch durchgeführt. Bereits im Projekt „Biogas-Expert“ waren detaillierte Untersuchungen an Mais vorgenommen worden

(OHL, 2011), so dass ein Vergleich mit den dort erhobenen Daten direkt möglich war, um die Frage zu beantworten, ob Zuckerrüben im Biogasprozess mit Mais konkurrenzfähig sind.

Einfluss der Qualität auf den Methanertrag

Um den Einfluss der Qualität und des Gehaltes an Inhaltsstoffen auf das substratspezifische Methanbildungspotential im Hohenheimer Biogasertragstest (HBT; OHL, 2011) zu untersuchen, wurden aus drei Vegetationsperioden verschiedene Winterrübenvarianten ausgewählt, die sich nach Genotyp, Standort und Erntetermin unterschieden. Die Pflanzen wurden als Ganzes geerntet, anschließend aber getrennt nach Rübe und Schosser weiter aufbereitet (getrocknet, gemahlen). Inhaltsstoffuntersuchungen (Weender-Analyse) wurden in einem externen Labor durchgeführt. Als Vergleich dienten herkömmlich angebaute Zuckerrüben, bei denen jedoch nur der Rübenkörper ohne Blatt untersucht wurde.

Die Untersuchungen zur spezifischen Methanproduktion (spez. CH_4) der Winterrüben ergaben, dass diese für Rüben im Durchschnitt bei 365 l_N/kg_{oTS} und für Schosser bei 330 l_N/kg_{oTS} lag, Sortenunterschiede ließen sich nicht nachweisen (Abb. 1).

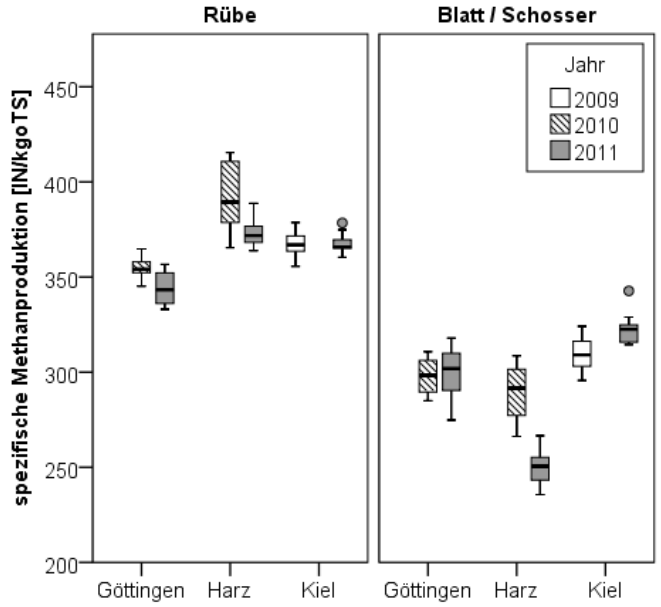


Abb. 1: Spezifische Methanproduktion von Winterrüben (HBT)

Schwankungen in der spezifischen Methanproduktion korrelieren mit der Inhaltsstoffzusammensetzung, d.h. im Vegetationsverlauf sinkt die Methanproduktion aufgrund der Zunahme des Rohfaseranteils. Allerdings steigt bedingt

durch den Biomassezuwachs der Trockenmasse- (TM-Ertrag) und damit der Methanhektarertrag (MHE). Da der TM-Ertrag stark von den Umweltbedingungen abhängig ist, lagen die MHE der Rüben zwischen 194 und 1842 Nm³/ha und die der Schosser bei 251 bis 2516 Nm³/ha. Unter optimalen Bedingungen (Göttingen, 2010/2011) konnte ein MHE von 4358 Nm³/ha bei Nutzung der Ganzpflanze erzielt werden. Frische Zuckerrüben erreichten im HBT eine mittlere Methanproduktion von 388 l_N/kg_{oTS} und einen MHE von 6440 Nm³/ha, damit sind sie vergleichbar mit frischem Mais (spez. CH_4 378 l_N/kg_{oTS}, MHE 6252 Nm³/ha; OHL 2011).

Einfluss der Aufbereitung auf Konservierung und Methanertrag

Um den Einfluss der gemeinsamen Ernte und Aufbereitung unterschiedlicher Pflanzenbestandteile auf die Konservierung zu untersuchen, wurden geschosste Winterrüben im Juni jeweils an einem Standort (1x Kiel, 2x Göttingen) geerntet. Die Rübenkörper wurden zunächst gewaschen und anschließend zur Konservierung aufbereitet. Es wurden jeweils nur die Rübenkörper (R) bzw. die ganze Pflanze (R+S) verwendet. Eine Teilprobe wurde jeweils ohne weitere Zerkleinerung (R) bzw. mit nur grober Zerkleinerung (R+S) oder aber sehr fein zerkleinert (Musen R, R+S) in dreifacher Wiederholung in vakuumierten, verschweißten Folienbeuteln eingelagert. Der Silierprozess setzte zügig ein, was an der Gasentwicklung in den Folienbeuteln und der pH-Wert-Absenkung nach 3 Tagen in eigens dafür angelegten Silagen erkannt werden konnte. Nach 90 tägiger Silierung wurden die Silagen ausgelagert, die Inhaltstoffzusammensetzung und die TM-Verluste bestimmt, frische Ausgangsmaterialien und ausgewählte Silagen wurden anschließend in einer 1l Batch-Anlage auf die spezifische Methanproduktion untersucht (OHL, 2011; VDI, 2006). Als Vergleich dienten herkömmlich angebaute Zuckerrüben, die in gleicher Weise geerntet, aufbereitet, konserviert und im Batch untersucht wurden.

Bei den silierten Winterrüben traten in allen Versuchsjahren trotz idealer Silierbedingungen stark differierende TM-Verluste auf (WR: R 9-38 %, R+S 3-25 %; ZR 5-31 %), hohe Verluste wurden vor allem bei solchen Silagen beobachtet, die sich durch einen hohen Ethanolgehalt auszeichneten. Die Genotypen hatten keinen Einfluss auf den Silierverlauf und die Höhe der Verluste. Vielmehr sind der Mikrobenbesatz und dessen Aktivität während der Silierung (Aktivität von Hefen und alkoholische Gärung) für die Höhe der Verluste verantwortlich. Eine Tendenz, dass der Aufbereitungsgrad einen Einfluss auf die Verluste hat, war nicht zu erkennen.

Die spezifische Methanproduktion der Rüben mit Schossern (251 bis 255 l_N/kg_{oTS}) lag deutlich unter der von einzeln silierten Rüben (292 bis

323 l_N/kg_{oTS}; Abb. 2), bzw. silierten Zuckerrüben (332 bis 442 l_N/kg_{oTS}). Unter Berücksichtigung der bei der Silierung auftretenden TM-Verluste waren die Winterrüben aufgrund des geringeren TM-Ertrages den Zuckerrüben unterlegen, was im MHE deutlich zu erkennen ist (WR 2931 Nm³/ha, ZR 5529 Nm³/ha). Im Vergleich dazu ergab sich bei der Silierung von Mais (Düngung KAS 240 kgN/ha) im Projekt „Biogas-Expert“ ein TM-Verlust von 11 %, eine spezifische Methanproduktion von 356 l_N/kg_{oTS} und ein MHE von 5.440 Nm³/ha.

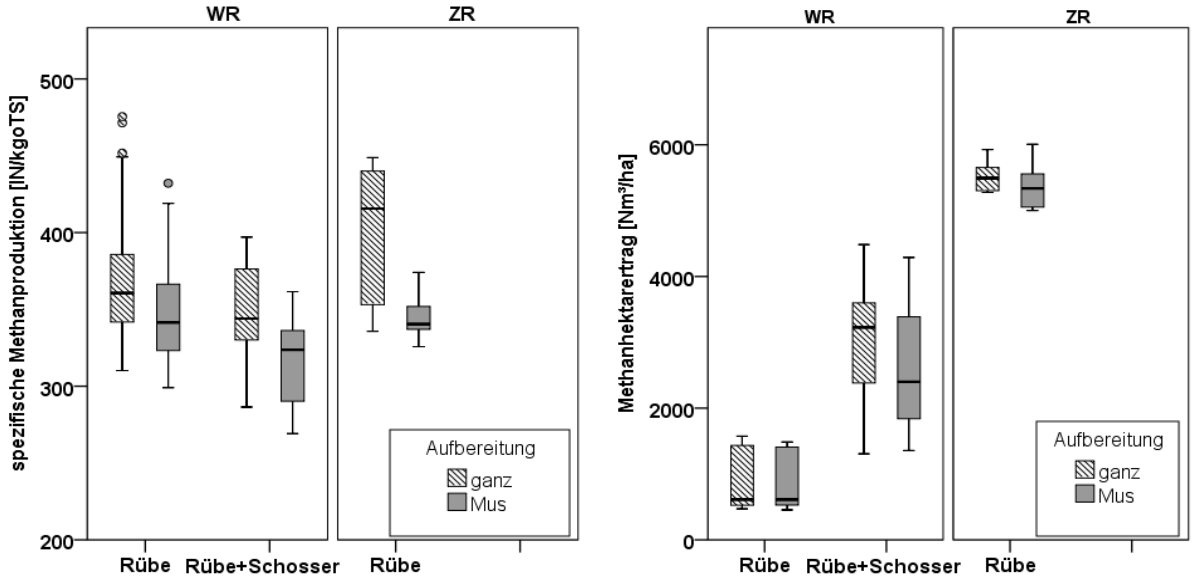


Abb. 2: Spezifische Methanproduktion und Methanhektarertrag von silierten Winter- und Zuckerrüben (mit WR: Winterrübe, ZR: Zuckerrübe; Batch-Versuch)

Lagerungsversuch Zuckerrüben

Eine Lagerungsform für Zuckerrübensilage (Brei) ist in der Praxis die offene Lagune. Um den Einfluss der Lagerungsform auf die Verluste, die Silagequalität und den Methanertrag zu untersuchen, wurde ein Lagerungsversuch in IBC-Containern (Volumen 1 m³, Füllstand 750 l) durchgeführt. Es wurden drei Varianten in dreifacher Wiederholung erstellt: geschlossen, offen, mit Folienabdeckung. Proben des frischen Rübenbreies und der Silagen (Tag 30, 60, 90 und 120) wurden zur Bestimmung der Inhaltsstoffe / Gärqualität sowie der spezifischen Methanproduktion im Batch-Versuch entnommen. Die Gewichtsveränderung der IBC-Container wurde mittels Wiegung im Abstand von 30 Tagen bestimmt.

Anhand der Daten der Inhaltsstoffanalyse konnte für jeden Container die zum jeweiligen Zeitpunkt enthaltene organische Trockenmasse (oTM) bestimmt

werden, die in Abb. 3 gemeinsam mit dem relativen Verlust an organischer Trockenmasse über den gesamten Zeitraum von 120 Tagen dargestellt ist. Im geschlossenen System kam es hauptsächlich während der ersten 30 Tage zu einer deutlichen Abnahme, während der weiteren Lagerung veränderte sich die oTM-Einwaage nur noch geringfügig. Im Gegensatz dazu war bei der offenen Lagerungsvariante und den mit Folie abgedeckten Behältern über den gesamten Zeitraum eine kontinuierliche Gewichtsabnahme zu beobachten. Der Verlust an organischer Trockenmasse betrug im geschlossenen System 14 %, im offenen System 22 % und bei Folienabdeckung 35 %. Für die extrem hohen Verluste bei Folienabdeckung war möglicherweise das Versuchsdesign verantwortlich, da die Folie zu den Probenahme-Terminen beiseitegeschoben werden musste. Dadurch kam es immer wieder zu Sauerstoffkontakt an der Oberfläche, die im Gegensatz zur offenen Variante nicht verkrustet war.

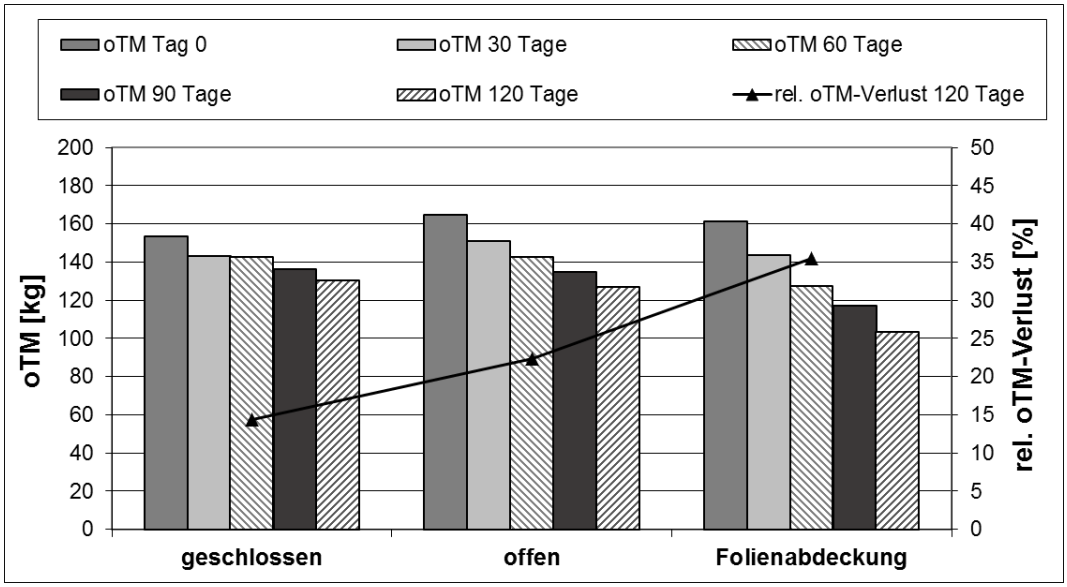


Abb. 3: Verlauf der Einwaage an organischer Trockenmasse (oTM) und relativer oTM-Verlust im Zuckerrüben-Lagerungsversuch über 120 Tage

Die im Batch-Versuch bestimmte spezifische Methanproduktion ließ bei den Silagen aus den geschlossenen Behältern bis zum 120. Tag eine Zunahme erkennen (frisch: 311 l_N/kg_{oTS}, Tag 120: 367 l_N/kg_{oTS}), wohingegen sich bei den anderen beiden Lagerungsvarianten keine nennenswerten Veränderungen zeigten.

Um die vorhandenen Unterschiede in der Einwaage zu relativieren und eine direkte Vergleichbarkeit aller Container herzustellen, wurde im nächsten Auswertungsschritt von einer ursprünglichen Einwaage von je 1 t Frischmasse (FM) ausgegangen. Für jeden Zeitpunkt erfolgte nun die Kalkulation des Methanertrages, wobei sowohl der oTM-Verlust als auch die veränderte Methanproduktion

on des Rübenbreies berücksichtigt wurden. Der Methanertrag von 1 t FM lag beim Start bei 64 Nm³ (Abb. 4). Bei der geschlossenen Variante konnte nach 120 tägiger Lagerung aufgrund der erhöhten spezifischen Methanproduktion der gleiche Methanertrag erzielt werden. Bei den anderen Lagerungsvarianten verringerte sich der Methanertrag mit fortschreitender Lagerdauer deutlich bis zu einem Methanertrag von 52 Nm³ nach 120 Tagen bei offener Lagerung (Folienabdeckung 49 Nm³). Der Verlust an Methanbildungspotential lag damit bei 21 % bzw. 24 % in dem Bereich, der von WEIßBACH et al. (2013) als Mindestverlust bei offener Lagunenlagerung (Füllhöhe 3 m) bezeichnet wird.

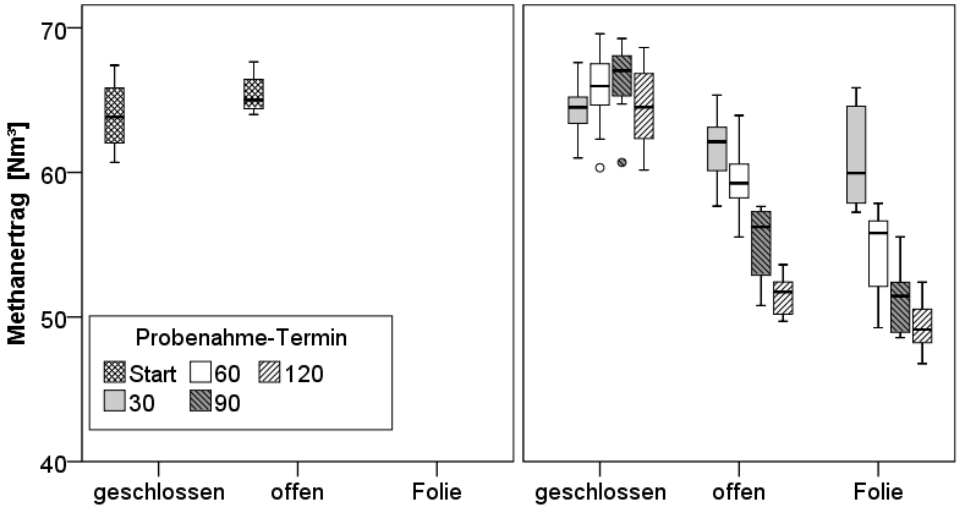


Abb. 4: Verlauf des Methanertrages aus 1 t Zuckerrüben über 120 Tage

Fermentationskinetik

In weiterführenden Untersuchungen wurden von 2012 bis 2015 die Fermentationskinetik der Zuckerrübe im Vergleich mit Mais und die Co-Fermentation beider Substrate in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen untersucht. Die Gasbildung setzt bei der Fermentation von Zuckerrüben wesentlich schneller ein, was häufig mit einer starken Schaumbildung einhergeht. Die Methanbildung ist bereits nach 5 Tagen zu 90 % abgeschlossen (Abb. 5). Die Gasbildungskurve von Mais hat einen weniger steilen Verlauf, die Methanbildung ist erst innerhalb von 11 bis 15 Tagen zu 90 % abgeschlossen. Je höher der Anteil der Zuckerrübe an der Substratmischung war, desto steiler verlief die Gasbildungskurve. Die spezielle Abbaukinetik der Zuckerrübe führt damit im Fermenter zu kürzeren Verweilzeiten.

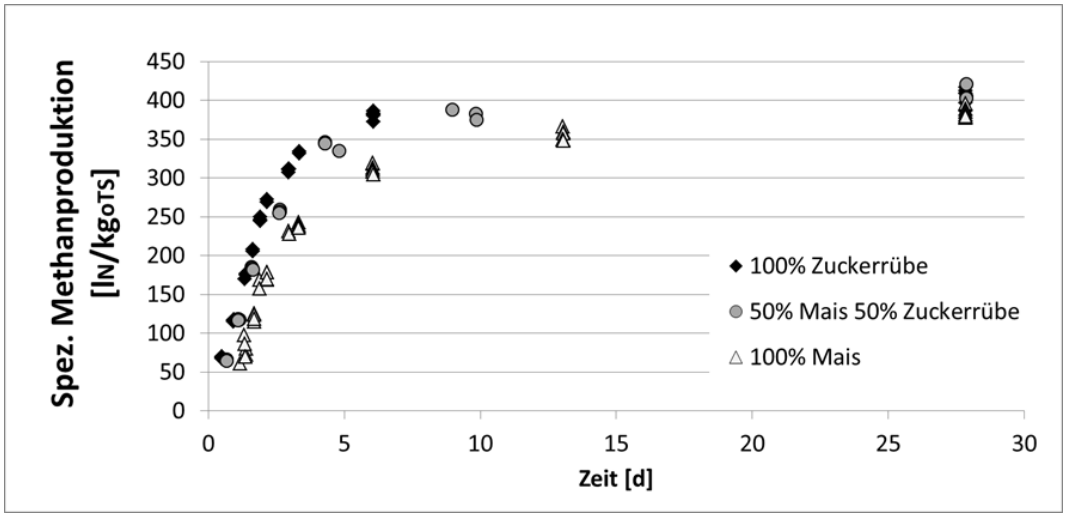


Abb. 5: Verlauf der Methanbildung bei (Co-) Fermentation von Zuckerrübe und Mais

Im kontinuierlichen Gärversuch erwies sich die Monofermentation von Zuckerrüben aufgrund der Schaumbildung und der Neigung zu Versauerung als problematisch, bei Co-Fermentation war der Prozess wesentlich stabiler. Der hohe Wasseranteil der Zuckerrübe führt zu einem dünnflüssigeren, pumpfähigeren Fermenterinhalt, die Rührintensität kann herabgesetzt werden.

Fazit

In Bezug auf die möglichen Methanerträge ist die Zuckerrübe als Biogassubstrat konkurrenzfähig mit Mais, um sie als Winterrübe zu nutzen, sind allerdings noch weitere Züchtungsanstrengungen hinsichtlich der Winterhärte bzw. der Schosskontrolle erforderlich.

Bei der Silierung von Zuckerrüben wird häufig neben den Gärsäuren auch Alkohol gebildet, was zu höheren Silierverlusten aber auch zu einer erhöhten spezifischen Methanproduktion führt. Um die Verdunstung des Alkohols während der Lagerung zu vermeiden, ist eine geschlossene Lagerung zu bevorzugen.

Die Monofermentation von Zuckerrüben ist aufgrund des schnell und heftig einsetzenden Fermentationsprozesses problematisch, allerdings bietet der Einsatz als Co-Substrat Vorteile, da einerseits der Fermenterinhalt dünnflüssiger wird, wodurch die Rührintensität herabgesetzt werden kann, andererseits führt die spezielle Fermentationskinetik zu kürzeren Verweilzeiten.

Literatur

FNR (2011): Basisdaten Bioenergie Deutschland. https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiKvs6psbjKAhUHlSwKHZCTDwUQFggtMAM&url=https%3A%2F%2Fwww.landwirtschaft-bw.info%2Fsite%2Fpbs-bw-new%2Fget%2Fdocuments%2FMLR.LEL%2FPB5Documents%2Frecht%2Fpdf%2F0%2F09.2011%2520-2520Basisdaten%2520Bioenergie%2520Deutschland%2520(FNR%2C%2520BMELV).pdf%3Fattachment%3Dtrue&usg=AFQjCNGd8mX9Tqo7LiwflFJOszE3WwN0WQ. 18.1.2016

FNR (2015): Daten und Fakten. https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas.html. 18.1.2016

Ohl, S. (2011): Ermittlung der Biogas- und Methanausbeute ausgewählter Nawaro. VDI-MEG 501, Dissertation, Kiel.

VDI (2006): VDI-Richtlinien, VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probennahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Beuth-Verlag GmbH, Düsseldorf (2006).

Weißbach, F., K. Parr, U. Reinsdorf, C. Warnke-Gurgel und B. Losand (2013): Verluste an Methanbildungspotenzial von Zuckerrübenmus in offenen Erdbecken. Landtechnik 68 (1), 50-57

Neue Wege in der Lebensmitteltechnologie: Nutzung von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen zur Proteinmodifikation

Julia K. Keppler, Sandra C. Wilde, Karin Schwarz

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

Die Modifikation von Proteinen

Proteine haben einen wichtigen Stellenwert in der Lebensmitteltechnologie, da sie nicht nur essentielle Aminosäuren liefern, sondern auch vielseitige physikochemische Eigenschaften aufweisen, die die Textur und Stabilität von Lebensmitteln positiv beeinflussen können. Das Molkenprotein beta-Lactoglobulin (BLG) beispielsweise kann Gele ausbilden sowie Schäume oder Emulsionen stabilisieren, indem es sich an die Phasengrenze zwischen Luft und Wasser oder Wasser und Öl anlagert. BLG eignet sich insbesondere für Modifikationen, da es bereits seit vielen Jahren als Modellprotein verwendet wird, wodurch seine Struktur-Eigenschaftsbeziehungen sehr gut aufgeklärt sind. Um seine natürlichen technologischen Eigenschaften zu optimieren, kann BLG auf unterschiedliche Weise modifiziert werden. Eine der einfachsten Varianten ist die Erhitzung, wodurch es „denaturiert“ – also seine ursprüngliche Faltung verliert und dadurch veränderte physikochemische Eigenschaften bekommt. Eine andere Möglichkeit ist die Modifikation von Proteinen durch Interaktion mit anderen Molekülen – wie beispielsweise mit sekundären Pflanzeninhaltsstoffen.

BLG besteht aus 162 einzelnen Aminosäuren (Abbildung 1) die zu einer festen Kugel gefaltet sind. Wasserlösliche Aminosäuren befinden sich an der Außenseite der Kugel, unlösliche Aminosäuren werden dagegen in das Innere des Proteins gefaltet. Wenn das Protein mit Grenzflächen in Kontakt kommt, wie es beispielsweise bei Wasser und Ölgemischen vorkommt, dann kann sich das Protein so entfalten, dass seine wasserlöslichen Anteile in die Wasserphase ragen, die wasserunlöslichen Anteile richten sich hingegen zur Lipidphase aus.

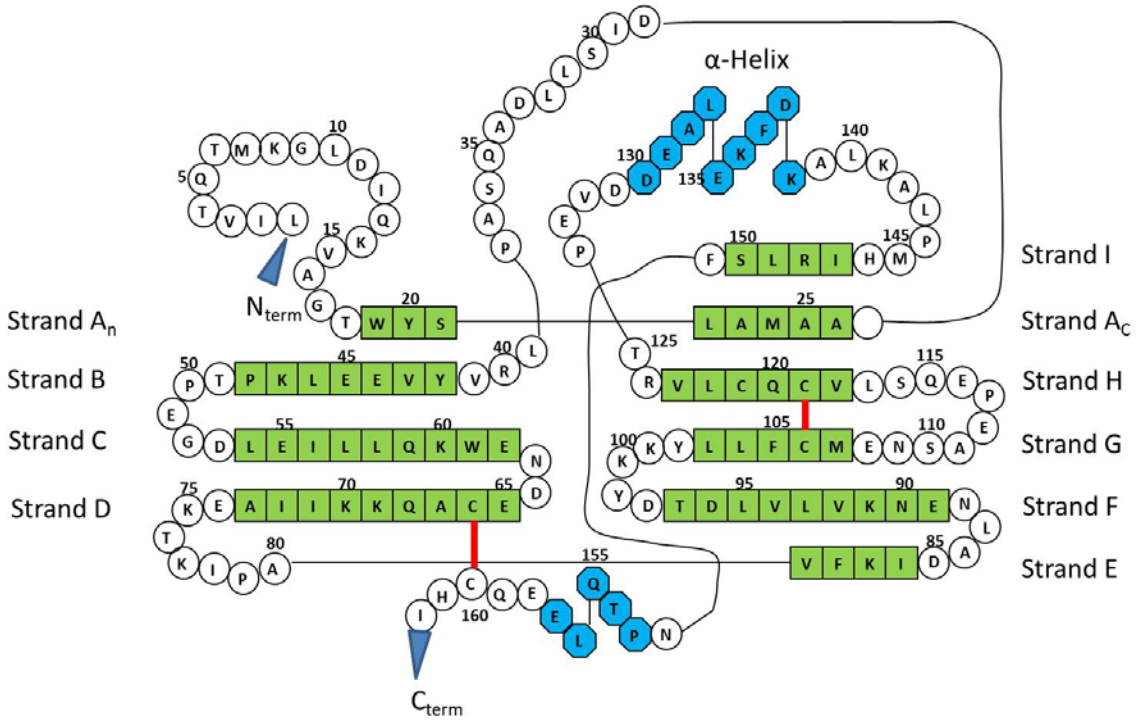


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Aminosäurenkette (Einbuchstaben Code) des Molkenproteins beta-Lactoglobulin (BLG). Die viereckigen Kästen stellen eine beta Faltblattstruktur dar, die achteckigen Kästchen bilden eine alpha Helix Struktur. Aminosäuren mit einem dicken roten Balken stellen eine Disulfidbrücke dar (C119 und C106 sowie C66 und C160 (C=Cystein)) (Abbildung aus Keppler et al 2015, Wilde et al. 2016a).

Eine „natürliche“ Modifikation: Polymorphismen

Wie stark die physikochemischen Eigenschaften von Proteinen von ihrer Aminosäurekette abhängen, soll im Folgenden anhand eines natürlichen Phänomens dargestellt werden. Bei Proteinen kommt es immer wieder zu Punktmutationen, die dazu führen, dass eine oder zwei Aminosäuren in der gesamten Kette durch eine andere ausgetauscht werden. Selbst so eine geringfügige Modifikation kann die technologischen Eigenschaften eines Proteins verändern, wenn beispielsweise eine ungeladene Aminosäure durch eine geladene ersetzt wird. Bei BLG sind mehr als 12 solcher Mutationen bekannt, am häufigsten findet man die genetischen Variationen A, B und C des Proteins, die entweder homozygot (AA, BB, CC) oder heterozygot vorkommen können (AB, AC, BC) (Abbildung 2).

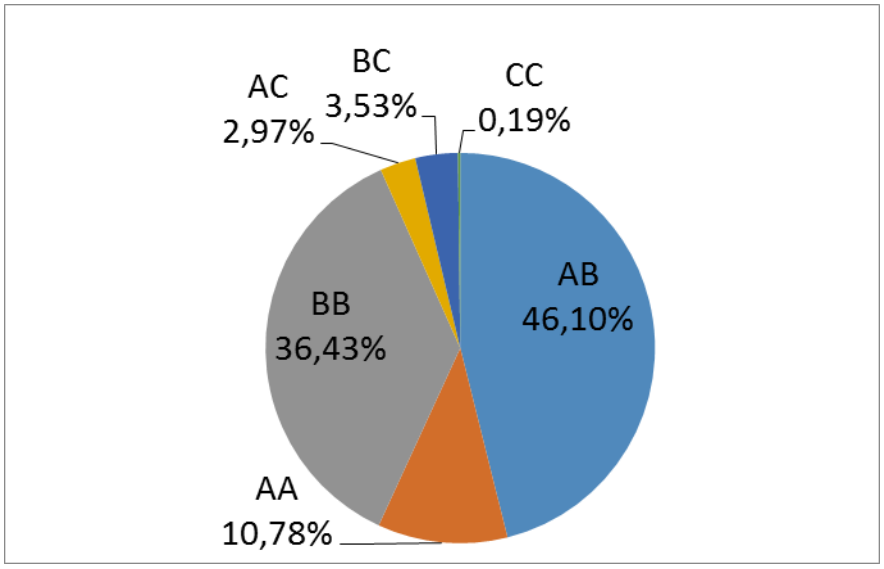


Abbildung 2: Prozentuale Verteilung der verschiedenen genetischen Varianten von beta-Lactoglobulin in der Milch von 500 Kühen der Rasse Angler, 2013 in Schleswig-Holstein (Eigene Darstellung).

Untersuchungen zeigten; dass die Lactoglobulin C-Variante eine 10 °C höhere Hitzestabilität gegenüber der A Variante aufweist (Keppler et al. 2014b). Gleichzeitig hat die A-Variante eine höhere Wasserlöslichkeit und zeigt dennoch eine höhere Affinität mit Polyphenolen zu interagieren (Keppler et al. 2015). Polymorphismen von anderen Milchproteinen haben insgesamt Auswirkungen auf die Ausbeute bei der Käseherstellung, auf die Dicklegung der Milch und die Größe von Casein-Mizellen. Obwohl die unterschiedlichen physikochemischen Eigenschaften der genetischen Varianten eine hohe technologische Signifikanz haben, sind die Erkenntnisse nicht direkt in der Praxis umzusetzen, da in der gesammelten Kuhmilch immer ein Gemisch verschiedener genetischer Varianten vorliegt. Es ergeben sich hieraus aber z.B. interessante Hinweise für Züchtungsziele. Des Weiteren kann die Untersuchung der Auswirkungen von Punktmutationen auf die physikochemischen Eigenschaften von Proteinen wertvolle Rückschlüsse für andere Formen der Modifikation geben, z.B. den Einbau von kleinen hydrophoben Molekülen.

Modifikation mit sekundären Pflanzeninhaltsstoffen

An der Oberfläche des BLG befinden sich mehrere Vertiefungen sowie eine sehr tiefe Einstülpung – eine sogenannte Kavität. Diese Bereiche werden von eher hydrophoben Aminosäuren gebildet. Weiterhin gibt es insgesamt 16 Aminosäuren mit einer zusätzlichen freien reaktiven Aminogruppe und eine freie reaktive Schwefelgruppe. In den hydrophoben Oberflächentaschen des Proteins können wasserunlösliche Vitamine, darunter Retinol oder sekundäre Pflanzenstoffe wie Polyphenole aus grünem Tee, binden (Abbildung 3). Diese Art der

Interaktion ist reversibel und unterliegt nur sehr schwachen Bindungsenergien, dadurch kann das Polyphenol sich jederzeit wieder vom Protein lösen. Aber bereits diese Art der Interaktion kann eine Proteinmodifikation darstellen, da sich die Faltung des BLG verändert (Keppler et al. 2015). Dennoch ist diese Bindung reversibel und nur schwach ausgeprägt und unterliegt dadurch den Umgebungseinflüssen, wodurch sie schwer zu kontrollieren ist.

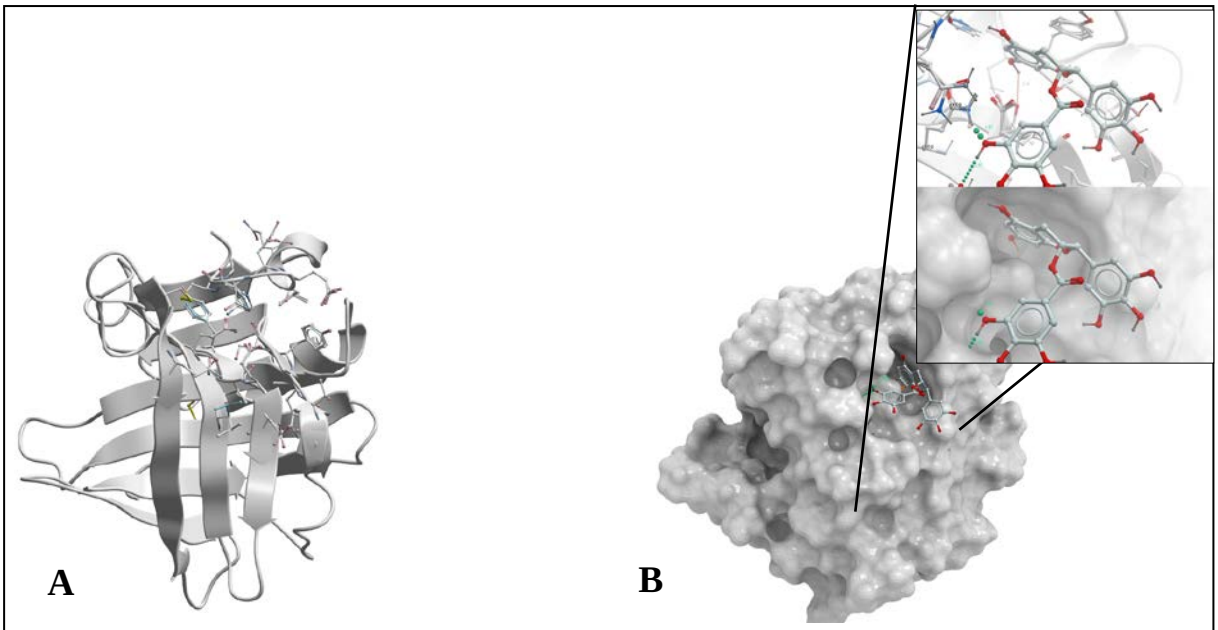


Abbildung 3: A) Aminosäurenkette des Molkenproteins beta-Lactoglobulin und B) Simulation einer Oberflächenstruktur, um die verschiedenen hydrophoben Taschen sichtbar zu machen. Über „Docking-Simulationen“ kann rechnerisch ermittelt werden, wie kleine hydrophobe Moleküle mit diesen hydrophoben Oberflächentaschen des Proteins interagieren. Dies ist hier am Beispiel des Grüntee-Catechins Epigallocatechingallat dargestellt (Eigene Darstellung, Software: ICM Pro, Molsoft LLC).

Neben der relativen schwachen Interaktionen von vielen Polyphenolen und Vitaminen mit BLG gibt es jedoch noch andere sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, die hoch reaktiv sind und stabile Aggregate mit Proteinen bilden können. Dazu gehören neben Curcumin und oxidierten Polyphenolen vor allem auch schwefelhaltige Pflanzenstoffe wie Allylisothiocyanat (Senföl) aus Kohl oder Senf (Keppler et al. 2014 a und c) sowie Allicin und Diallyldisulfid aus Knoblauch und anderen Lauchgewächsen (Wilde et al. 2016 a, b, c).

Allylisothiocyanat (AITC) gehört zur Gruppe der Isothiocyanate. Ihm wird eine anticarcinogene und antimikrobielle Wirkung zugeschrieben. Aufgrund seiner Reaktivität kann es mit den 16 freien reaktiven Aminogruppen oder der freien Thiolgruppe des BLG interagieren. Aus Untersuchungen ging hervor, dass bis zu fünf AITC Moleküle an ein einzelnes BLG gebunden werden können. Da AITC selbst nur schwach wasserlöslich ist, wird durch die Anbindung des

AITC an die Proteinstruktur auch das Protein insgesamt wasserunlöslicher. Die Modifikation des BLG durch AITC besitzt eine starke Bindungsenergie, so dass auch nach dem Trocknen des Proteins (Sprühtrocknen oder Gefriertrocknen) die Modifikation noch beständig ist und damit ein großtechnischer Einsatz des modifizierten Proteins in Pulverform denkbar ist.

Die Modifikation des Proteins mit AITC verändert nicht nur die Wasserlöslichkeit des Proteins, sondern auch seine Faltung. Die globuläre Struktur des Proteins wird gelockert und dadurch wird das BLG flexibler und beweglicher. Entsprechend ist davon auszugehen, dass sich auch die technologischen Eigenschaften des modifizierten BLG von dem des unmodifizierten BLG unterscheiden. Um dies zu testen, wurden einfache Testemulsionen (Wasser und Ölgemische) hergestellt (Abbildung 4), die entweder durch unmodifiziertes BLG oder durch AITC modifiziertes BLG stabilisiert wurden.

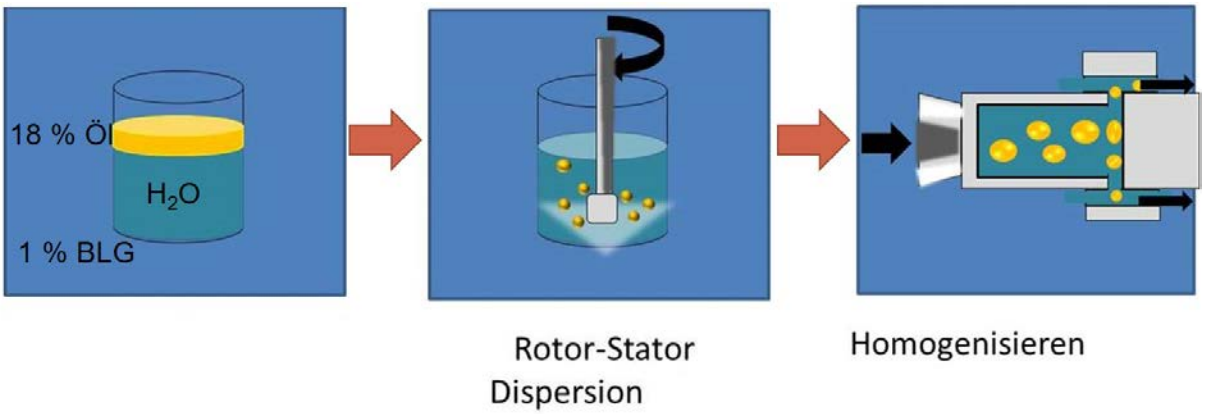


Abbildung 4. Herstellung einer Testemulsion durch vermengen von 18 % Rapsöl mit Wasser, stabilisiert durch 1 % modifiziertes oder unmodifiziertes beta-Lactoglobulin. Es wird zunächst eine Voremulsion mittels Rotor-Stator Dispersion hergestellt. Die Dispersion wird anschließend im Hochdruckhomogenisator bei 400 bar weiter behandelt (eigene Darstellung).

Die Ergebnisse zeigten, dass diese Emulsionen vor allem im sauren pH-Wert Bereich (pH 2) zu einer statistisch signifikanten Verringerung der Öltröpfchengröße der Emulsion führten. Weiterhin lagerte sich das modifizierte Protein tatsächlich schneller an Phasengrenzen an als das unmodifizierte. Emulsionen sind instabile Systeme und die Ölphase neigt immer dazu sich mit der Zeit wieder von der Wasserphase zu trennen. Die Emulsionen mit dem modifizierten Protein wiesen jedoch eine höhere Aufrahmungsstabilität gegenüber dem unmodifizierten Protein auf. Insgesamt sind die technologischen Veränderungen dieser BLG Modifikation mit AITC also sehr vielversprechend.

Schwefelhaltige Inhaltsstoffe aus Knoblauch, wie das Allicin, interagieren ebenfalls auf natürliche Weise mit BLG – jedoch bindet Allicin nicht an freie Aminogruppen, sondern ausschließlich an freie Schwefelgruppen. Aus diesem Grund binden auch nicht 5 Moleküle an das Protein, wie bei AITC, sondern nur ein Molekül. Trotzdem zeigt sich auch bei dieser Modifikation des BLG, dass das Protein etwas wasserunlöslicher wird als vorher. Zudem steigt die Stabilität gegenüber hitzebedingter Entfaltung (Wilde et al. 2016 a,b und c, Patent DE 10 2015 116 264).
Sowohl AITC als auch Allicin oder Diallyldisulfid sind bekannt für ihren typischen Geschmack und Geruch nach Kohl oder Knoblauch. Es zeigte sich jedoch, dass durch die Bindung an das BLG die sensorische Wahrnehmung nahezu vollständig reduziert wird (Abbildung 5). Somit bleibt also der Einsatz einer solchen Proteinmodifikation nicht nur herzhaften Zubereitungen vorbehalten. Tatsächlich wurde bereits ein Kaffeegetränk als Testlebensmittel mit Allicin-modifiziertem Protein hergestellt und verkostet. Es wurde keine geschmackliche Beeinträchtigung festgestellt (Wilde et al. 2016c).

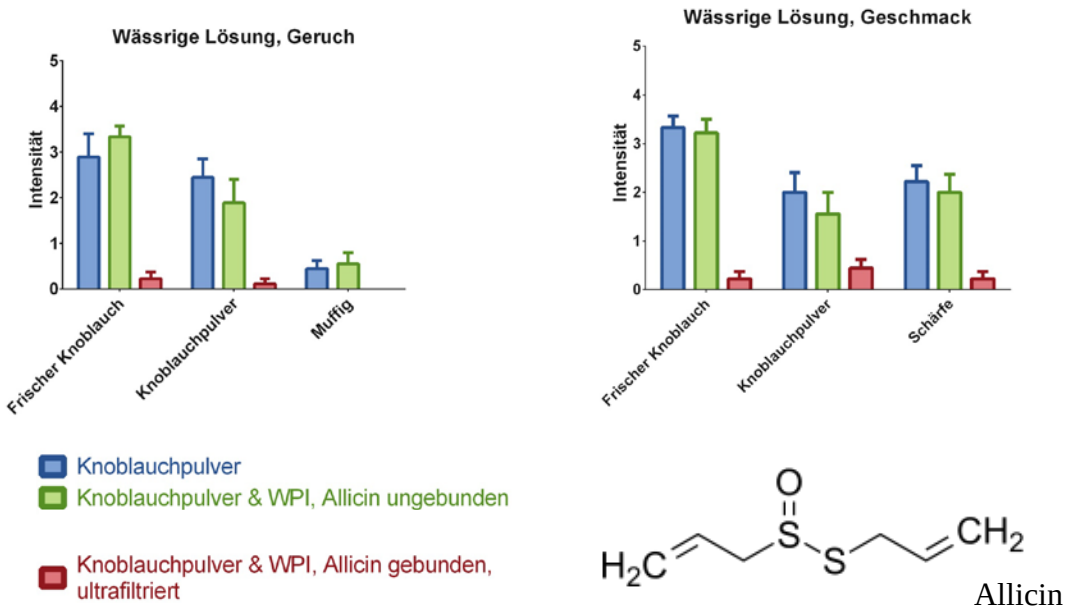


Abbildung 5 Geruch und Geschmacksintensität einer wässrigen Lösung von Knoblauchpulver, Knoblauchpulver mit ungebundenem Molkenproteinextrakt (WPI) oder von Knoblauchpulver, welches an das Protein gebunden wurde (Abbildung aus Wilde et al. 2016 c).

Ausblick

Insgesamt zeigt sich also eine Modifikation von Proteinen mit reaktiven sekundären Pflanzeninhaltsstoffen als vielversprechende Möglichkeit, um die technologischen Eigenschaften von Proteinen auf natürliche Weise zu modifizieren. In Zukunft sollen noch weitere funktionelle Eigenschaften der modifizierten Proteine untersucht sowie andere reaktive Pflanzeninhaltsstoffe auf ihre Eignung zur natürlichen Proteinmodifikation getestet werden. Interessant bleibt auch die Un-

tersuchung, inwiefern die positiven gesundheitlichen Wirkungen der sekundären Pflanzenstoffe auch nach Proteinbindung noch ausgeprägt sind.

Literaturverzeichnis

Keppler J.K., Martin D., Garamus V.M., Schwarz K. (2015): Differences in binding behavior of (-)-epigallocatechin gallate to ß-lactoglobulin heterodimers (AB) compared to homodimers (A) and (B). *Journal of Molecular Recognition 28(11):656-666.* DOI: 10.1002/jmr.2480

Keppler J.K., Koudelka T., Palani K., Tholey A., Schwarz K. (2014)a: Interaction of β-Lactoglobulin with small hydrophobic ligands - Influence of covalent AITC modification on β-LG tryptic cleavage. *Food Biophysics 9(4): 349-358*. DOI: 10.1007/s11483-014-9361-4.

Keppler J.K., Sönnichsen F. D., Lorenzen P.-Chr., Schwarz K. (2014)b: Differences in heat stability and ligand binding among beta-lactoglobulin genetic variants A, B and C using 1H-NMR and fluorescence quenching. *Biochimica and Biophysica acta-Proteins and Proteomics 1844(6):1083-1093*. DOI: 10.1016/j.bbapap.2014.02.007.

Keppler J.K., Koudelka T., Palani K., Stuhldreier M.C., Temps F., Tholey A., Schwarz K. (2014)c: Characterization of the covalent binding of allyl isothiocyanate to ß-lactoglobulin by fluorescence quenching, equilibrium measurement, and mass spectrometry. *Journal of Molecular Structure and Dynamics 32(7):1103-1117*. DOI: 10.1080/07391102.2013.809605.

Patent DE 10 2015 116 264: Nahrungsmittelzusatz aufweisend bioaktive Komponenten des Knoblauchs.

Wilde S.C., Keppler J.K., Palani K., Schwarz K., (2016)c: β-Lactoglobulin as nanotransporter for allicin: Sensory properties and applicability in food. *Food Chemistry* 199. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.12.055.

Wilde S.C., Keppler J.K., Palani K., Schwarz K., (2016)b: β-Lactoglobulin as nanotransporter – part I: Binding reaction of allicin and diallyl disulphide with ß-lactoglobulin. *Food Chemistry* 197: 1015-21. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.11.010.

Wilde* S.C., Treitz* C., Keppler J.K., Koudelka T., Palani K., Tholey A., Harshadrai R.M., Schwarz, K., (2016)a: β-lactoglobulin as nanotransporter – part II: Analysis of the covalent protein modification by allicin and diallyl disulphide. *Food Chemistry* 197: 1022-29. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.11.011.

Alter, Ernährung und Gebrechlichkeit

Corinna Geisler und Manfred J. Müller

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde;
Referenzzentrum für Körperzusammensetzung

1. Einleitung

Im Alter, bei chronischen Erkrankungen oder Gebrechlichkeit wird eine Abnahme der Muskelmasse beobachtet [1, 2]. Der Begriff Sarkopenie bedeutet den Verlust an Muskelmasse und geht mit einer verminderten Mobilität, Kraft und Fitness sowie einem erhöhten Risiko für Stürze und Frakturen einher [3]. Bestehen gleichzeitig eine hohe Fett- und geringe Skelettmuskelmasse, wird dies als „sarkopene Adipositas“ bezeichnet. Die Auswirkungen von Adipositas und Sarkopenie verstärken sich gegenseitig: „Sarkopen-adipöse“ Menschen haben ein zwei- bis dreifach höheres Risiko, eine Gebrechlichkeit zu entwickeln, als sarkopene oder adipöse Personen [4]. Eine frühzeitige und differenzierte Erfassung des Ernährungszustandes ist für die Prävention und Behandlung der Sarkopenie und „sarkopenen Adipositas“ notwendig. Mögliche Strategien zu Ihrer Prävention und Behandlung sind eine adäquate Energie- und Proteinzufuhr sowie Krafttraining. Experimentell ist die Behandlung mit Wachstumsfaktoren [5].

2. Veränderungen in der Körperzusammensetzung im Alter

Das Gesamtkörpergewicht lässt sich weiter in die Fettfreie Masse (FFM) und Fettmasse (FM) unterteilen. Die FFM umfasst dabei die nicht-fettenthaltenden Körperbestandteile, sie berücksichtigt auch den Nicht-Fettanteil des Fettgewebes. Die FFM wird weiter differenziert in Muskelmasse, Masse der Organe und Knochenmineralien. Die Fettmasse wiederum besteht aus subkutanem und viszeralem Fettgewebe. Mit steigendem Alter kommt es zu einer Umverteilung von FFM und FM. Die FM nimmt anteilig zu, während die FFM abnimmt. Der Anteil sowohl der Muskelmasse als auch der inneren Organe an der FFM nimmt ab. Die FM wird von subkutan zu viszeral "umverteilt". Diese altersabhängigen Veränderungen führen zu drei Phänotypen des Alters.
1. Dem "Sarkopenen Phänotyp" mit einer reduzierten Muskelmasse, Knochenmineralien, Kraft und leicht erhöhten Fettmasse, dieser Phänotyp hat ein erhöh-

tes Risiko der Gebrechlichkeit [6]. 2. Dem "Sarkopen-adipösen Phänotypen" der wiederum gekennzeichnet ist durch eine reduzierte Muskelmasse und einer erhöhten subkutanen und/oder viszeralen Fettmasse. Der "Sarkopen-adipöse Phänotyp" hat ein höheres Risiko für kardio-metabole Erkrankungen und eine verminderte körperliche Funktion [7]. Der "Sarkopen-adipöse Phänotyp" wird selten erkannt, da die Adipositas den Muskelmasseverlust "verdeckt" und das Gewicht der Betroffenen nicht reduziert ist [8]. Aufgrund des höheren kardio-metabolen Risikos werden diese Personen häufig medikamentös eingestellt. 3. Der "Kachektische Phänotyp" ist der mit Krankheiten assoziierten Phänotyp. Er ist durch einen Gewichts-, Muskelmasse- und Fettmasseverlust charakterisiert. Die Patienten werden wegen der entsprechenden Erkrankung häufig stationär in Krankenhäusern behandelt. Allen drei Phänotypen gemeinsam sind die Veränderungen in Masse, Qualität und Funktion des Muskels.

3. Genaue Messung der Körperzusammensetzung

Die Unterteilung von Muskelmasse, Organmassen und Fettgeweben ist durch bildgebende Verfahren, wie z.B. der Magnetresonanztomografie (MRT) oder Computertomografie (CT) möglich. Diese Methoden erlauben anhand der Aufnahmen vieler Schichten, die Volumina von Muskelmasse, Organen und Fettgeweben zu erfassen und deren Massen zu berechnen (s. Abbildung 1).

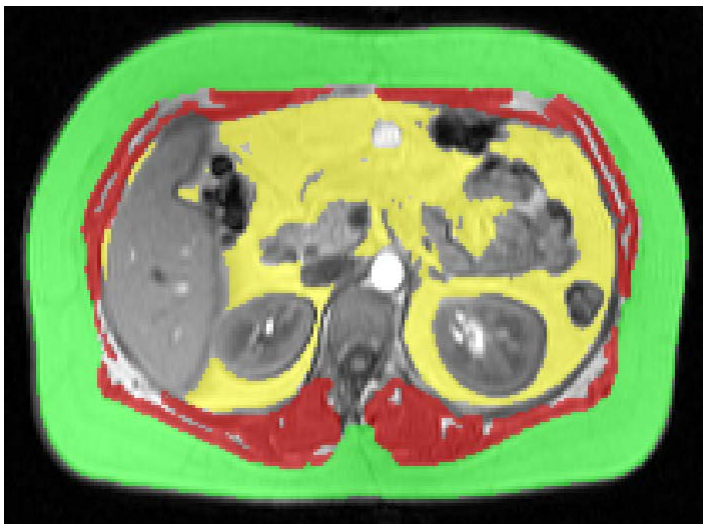


Abbildung 1: Angefärbte MRT-Schichtaufnahme aus dem Rumpfbereich (rot= Muskelmasse, grün= subkutanes Fettgewebe, gelb=viszerales Fettgewebe und grau= innere Organe)

Diese mittels MRT generierten Daten wurden genutzt, um die Beziehung zum Alter zu überprüfen [9]. Dabei weisen die Veränderungen der Muskelmasse und Organmasse eine nicht lineare Beziehung zum Alter auf (s. Abbildung 2). Im jungen Erwachsenenalter nehmen die Muskel- und Organmasse zu, um danach

abzunehmen. Dieser Altershöhepunkt und die Veränderungen pro Dekade sind dabei geschlechtsspezifisch.

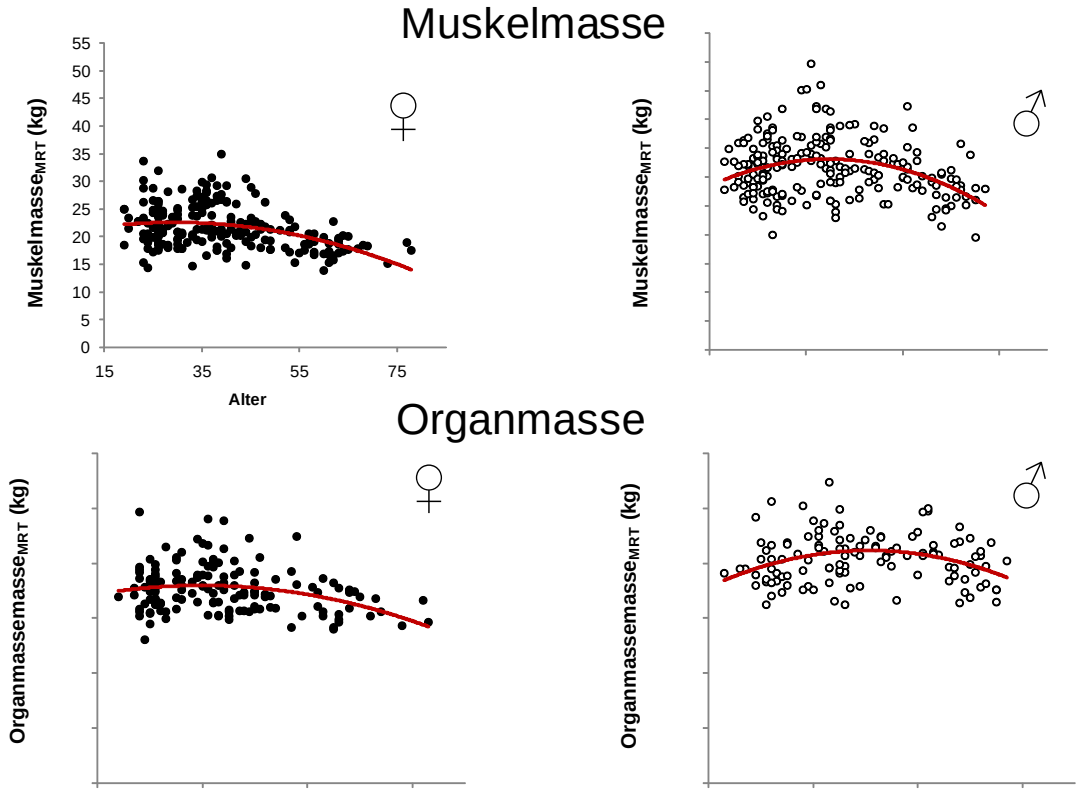


Abbildung 2 Beziehung des Alters zur Muskelmasse$_{MRT}$ (A+B) und Organmasse$_{MRT}$ (C+D) bei Frauen (♀) und Männern (♂).

Geschlechtsspezifisch nimmt die Muskelmasse im Mittel um 1,54 kg/Dekade (Frauen) und 1,84 kg/Dekade (Männer) ab. Dies beginnt bei Frauen im Alter von 29,4 Jahren, bei Männern ab dem 39,6 Lebensjahr. Die Abnahme der Muskelmasse tritt bei Frauen bis zu eine Dekade früher auf. Die Organmassen nehmen bei Frauen (-0,16 kg/Dekade) und Männern (-0,23 kg/Dekade) unterschiedlich schnell ab und zeigen geschlechtsspezifische Altershöhepunkte: Bei Frauen ab dem 35. und bei Männern ab dem 46 Lebensjahr. Die alters- und geschlechtsspezifische Veränderung der aktiven Komponenten der FFM führen in Konsequenz zu einer alters-abhängigen Abnahme des Ruheenergieverbrauchs. Die FFM ist die stärkste Determinante des Energieverbrauchs (R^2=0,61) [10]. Die Beziehung der FFM und des Energieverbrauchs verändert sich mit dem Alter, sie wird insgesamt schwächer [10]. Mit höherem Alter ist der spezifische Energieverbrauch pro Kilogramm FFM vermindert. Abbildung 3 zeigt die Beziehung der alters-abhängigen Veränderungen des Ruheenergieverbrauchs für Frauen und Männer. Dieser bleibt auch nach Korrektur des Energieverbrauchs

um die FFM bestehen. Der Ruheenergieverbrauch nimmt sowohl für Frauen als auch für Männer bis in die vierte Lebensdekade zu, danach kommt es zu einer Abnahme von 470 kJ/Tag pro Dekade (Frauen) beziehungsweise 310 kJ/Tag pro Dekade (Männern). Wird der Ruheenergieverbrauch für die Fettfreie Masse korrigiert, werden die Altershöhepunkte und die Abnahme pro Dekade geschlechtsspezifisch unterschiedlich. Für Frauen liegt der Altershöhepunkt bei 38,5 Jahre und für Männer bei 59,7 Jahren. Die Abnahme pro Dekade ist dabei bei den Männern (-700 kJ/Tag) signifikant höher als bei den Frauen (-100 kJ/Tag). Diese durch das Altern bedingte Veränderungen der Körperzusammensetzung und des Stoffwechsels haben einen Einfluss auf die Energie- und Proteinbedarf.

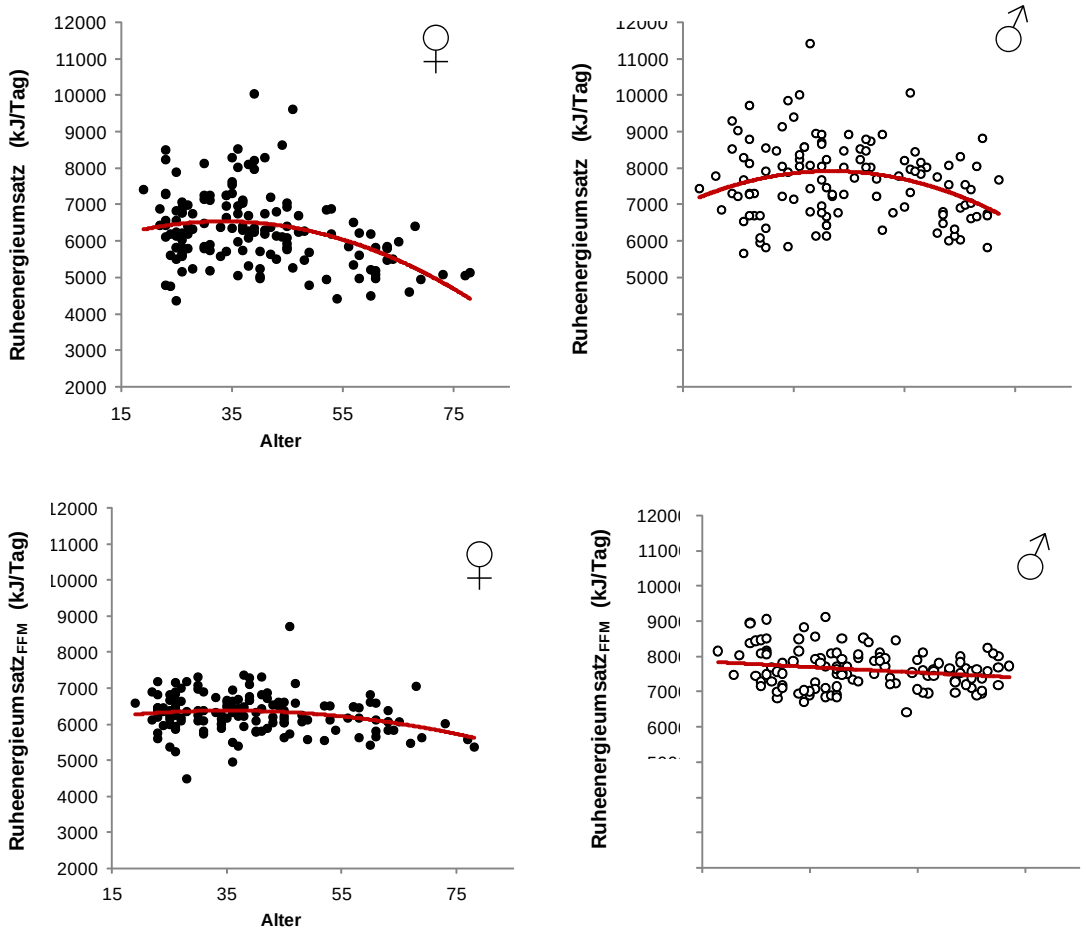


Abbildung 3 Beziehung zwischen Alter, Ruheenergieumsatz (A+B) und Ruheenergieumsatz$_{FFM}$ (C+D) bei Frauen (♀) und Männern (♂).

4. Alter, Geschlecht und Aktivität beeinflussen die Energiezufuhr, jedoch nicht die Proteinzufuhr

Prävention und Behandlung des Muskelmasseverlustes mit dem Alter besteht in einer ausreichenden Energie- und Proteinzufuhr. Die D-A-CH[13] hat 2015 ihre Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr neu aufgelegt und veröffentlicht [11]. Die Empfehlungen zur Proteinaufnahme sind weder alters- noch geschlechtsbezogenen formuliert. Für alle erwachsenen Personen wird eine Zufuhr von 0,8g Protein/kg Körpergewicht empfohlen. Eine 60 kg schwere Person hat also einen Bedarf von 48g Protein. Diese absolute Menge hat jedoch bezogen auf die Körperzusammensetzung (FM/FFM Verhältnis) eine hohe inter-individuelle Varianz (0,93-1,30gProtein/kg FFM). Im Vergleich dazu sind die Empfehlungen zur Energiezufuhr differenziert nach Alter, Geschlecht und körperlicher Aktivität. Im Vergleich zu den Empfehlungen ergibt sich anhand eigener Daten von gesunden Probanden unterschiedlichen Alters (s. Abbildung 4) eine gute Annäherung an die berechnete Energiezufuhr

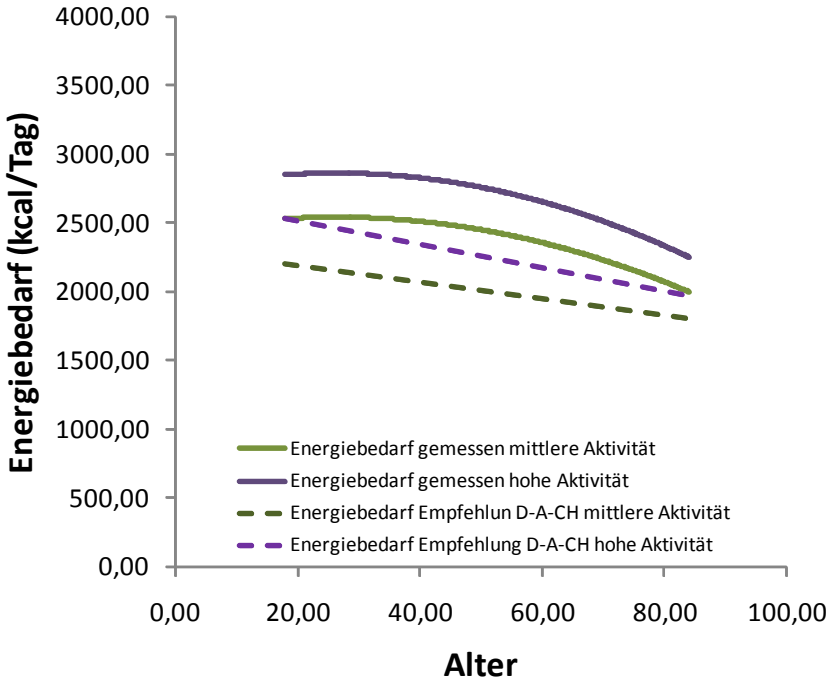


Abbildung 4 Vergleich einer statischen Empfehlung zum Energiebedarf (gestrichelte Linie) zum individuell berechneten Energiebedarf (durchgezogene Linie).

[13] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung, *D-A-CH*

5. Alter, körperliche Funktion und gesundheitliches Risiko

Es besteht eine Beziehung zwischen der Muskelmasse und der körperlichen Funktion, wie der Handkraft, der Gehstrecke, dem Aufstehtest oder der Lungenfunktion. Diese Beziehung der Muskelmasse zur Handkraft (R^2=0,726) ist dabei stärker als zur Lungenfunktion (R^2=0,347) [13]. Muskelmasse hat sowohl zur Handkraft als auch zur Lungenfunktion eine positive Beziehung. Dabei ist die Handkraft ein Vermittler der Beziehung von Muskelmasse und Lungenfunktion. Eine gute Handkraft kann also auch ein Indikator für die Qualität der Lungenfunktion sein.

Zusammenfassung

Die Veränderungen der verschiedenen Kompartimente (FM, FFM) des Körpers beginnen schon ab der 3. und 4. Lebensdekade. Alter ist also relativ und lebensbegleitend. Um den Verlust an Muskelmasse zu reduzieren, wird eine adäquate Zufuhr an Energie und Protein über die Ernährung sowie Krafttraining empfohlen. Die verschiedenen Phänotypen des Ernährungszustandes (sarkopen, sarkopen-adipös, kachektisch) sind unterschiedlich zum gesundheitlichen Risiko und der Gebrechlichkeit assoziiert. Diese Phänotypen sollten daher für die Einschätzung des gesundheitlichen Risikos und der Gebrechlichkeit im Alter Beachtung finden.

1. Abellan van Kan, G., *Epidemiology and consequences of sarcopenia.* J Nutr Health Aging, 2009. **13**(8): p. 708-12.
2. Volkert, D., *The role of nutrition in the prevention of sarcopenia.* Wien Med Wochenschr, 2011. **161**(17-18): p. 409-15.
3. Hansen, R.D., C. Raja, and B.J. Allen, *Total body protein in chronic diseases and in aging.* Ann N Y Acad Sci, 2000. **904**: p. 345-52.
4. Baumgartner, R.N., et al., *Sarcopenic obesity predicts instrumental activities of daily living disability in the elderly.* Obes Res, 2004. **12**(12): p. 1995-2004.
5. Miller, S.L. and R.R. Wolfe, *The danger of weight loss in the elderly.* J Nutr Health Aging, 2008. **12**(7): p. 487-91.
6. Fried, L.P., et al., *Frailty in older adults: evidence for a phenotype.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2001. **56**(3): p. M146-56.
7. Rolland, Y., et al., *Difficulties with physical function associated with obesity, sarcopenia, and sarcopenic-obesity in community-dwelling elderly women: the EPIDOS (EPIDemiologie de l'OSteoporose) Study.* Am J Clin Nutr, 2009. **89**(6): p. 1895-900.
8. Gallagher, D., et al., *Weight stability masks sarcopenia in elderly men and women.* Am J Physiol Endocrinol Metab, 2000. **279**(2): p. E366-75.

9. Geisler, C., et al., *The prediction of total skeletal muscle mass in a Caucasian population - comparison of Magnetic resonance imaging (MRI) and Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA).* Clin Physiol Funct Imaging, 2015.
10. Muller, M.J., et al., *World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure.* Am J Clin Nutr, 2004. **80**(5): p. 1379-90.
11. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Ö.G.f.E., Schweizerische Gesellschaft für Ernährung, *D-A-CH Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr*, ed. Ö.G.f.E. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (eds). Vol. 2. Auflage, 1. Ausgabe 2015. 2015, Bonn.
12. Muller, M.J., et al., *Assessment and definition of lean body mass deficiency in the elderly.* Eur J Clin Nutr, 2014. **68**(11): p. 1220-7.
13 Schweitzer et al., Associations between body composition, physical capabilities and pulmonary function in healthy older adults. Under review 2016

Einfluss von Grüntee auf die Lebens- und Gesundheitsspanne bei *Drosophila melanogaster* (Fruchtfliege)

Anika Wagner, Stefanie Piegholdt & Gerald Rimbach

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

Der Konsum von grünem Tee wird mit unterschiedlichen gesundheitsfördernden Eigenschaften in Verbindung gebracht. Die grünen Blätter des Tees enthalten eine Vielzahl an bioaktiven Pflanzenstoffen, die, je nach Anbaubedingungen und Prozessierung, in ihrer Zusammensetzung und Konzentration stark variieren können. Polyphenole machen ungefähr 30% des Trockengewichtes von Grüntee aus, wovon 60-80% auf die Catechine und davon wiederum 80% auf das Epigallocatechingallat entfallen [1]. Epigallocatechingallat wird unter anderem für die gesundheitsfördernden Eigenschaften des Grüntees verantwortlich gemacht [2-4]. In Abbildung 1 ist die chemische Struktur von Epigallocatechingallat dargestellt.

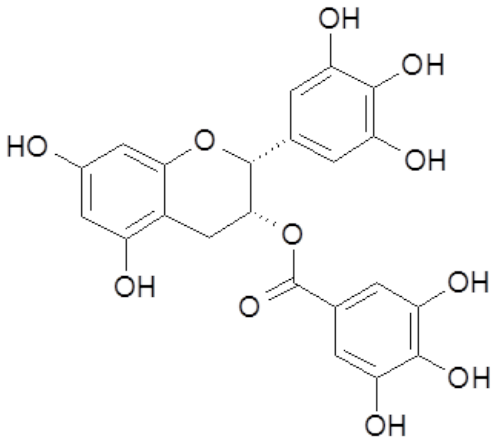


Abbildung 1: Chemische Struktur des Epigallocatechingallat

Untersuchungen in verschiedenen Modellorganismen deuten auf einen lebensverlängernden Effekt durch die Behandlung mit Grüntee bzw. Epigallocatechingallat hin [5-10]. Die zugrunde liegenden Mechanismen sind allerdings noch nicht vollständig aufgeklärt.

In eigenen Untersuchungen an der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* konnten wir zeigen, dass eine lebenslange Fütterung mit einem koffeinfreien, Epigal-

locatechingallat-reichen (>90%) Grünteeextrakt (EGCG) zu einer signifikanten Verlängerung der Lebensspanne führte (Abbildung 2).

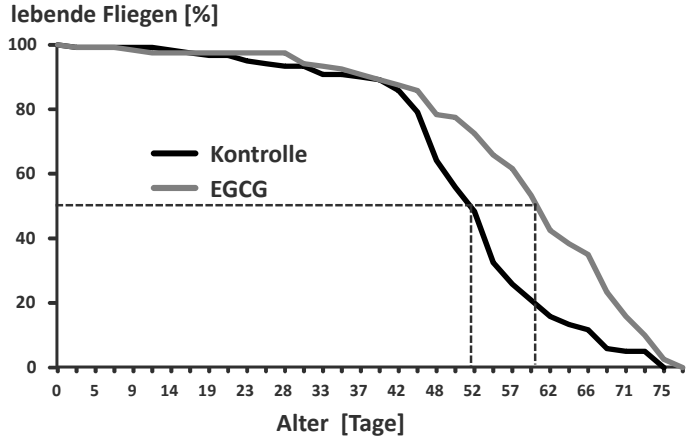


Abbildung 2: Einfluss der Fütterung eines Epigallocatechingalat-reichen Grünteeextraktes (EGCG; 10 mg/ml) auf die Lebensspanne von männlichen Fruchtfliegen (*Drosophila melanogaster*) [11].

Im Vergleich zu unbehandelten Kontrolltieren resultierte eine Vorbehandlung mit EGCG zu einer deutlich besseren Stressresistenz der Fliegen gegenüber Wasserstoffperoxid (Abbildung 3a) und dem Breitbandherbizid Paraquat (Abbildung 3b).

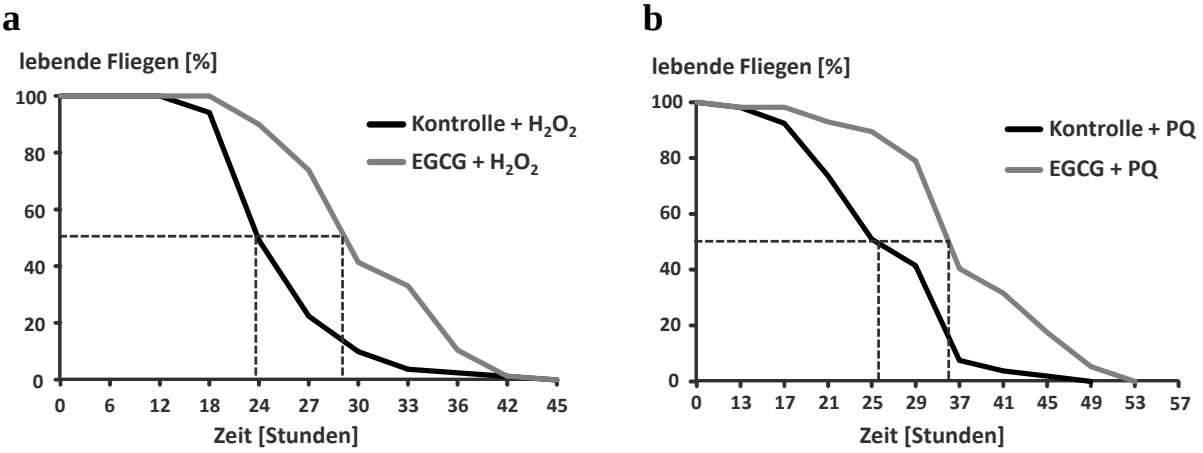


Abbildung 3: Einfluss einer 10tägigen Fütterung eines Epigallocatechingallat-reichen Grünteeextraktes (EGCG; 10 mg/ml) auf die Resistenz gegenüber den Stressoren (a) Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und (b) Paraquat (PQ) in männlichen Fruchtfliegen (*Drosophila melanogaster*).

Auch die Kletteraktivität, als Maß für die Fitness, war in den EGCG-behandelten Fliegen im Vergleich zu unbehandelten Kontrolltieren signifikant

verbessert. Darüber hinaus wurde in den EGCG-behandelten Fliegen eine Hochregulierung des Gens *spargel* (Srl), dem *Drosophila* Homolog des Peroxisom Proliferator aktiviertem Rezeptor γ (PPARγ) Co-Aktivator 1 α (PGC1α) und zentraler Mediator der mitochondrialen Biogenese, beobachtet (Abbildung 4a). Interessanterweise führte die EGCG-Behandlung von *Drosophila melanogaster* auch zu einer Aktivierung des Enzyms AMPK (Adenosinmonophosphat-aktivierte Proteinkinase), das zentral am Energiestoffwechsel beteiligt ist (Abbildung 4b).

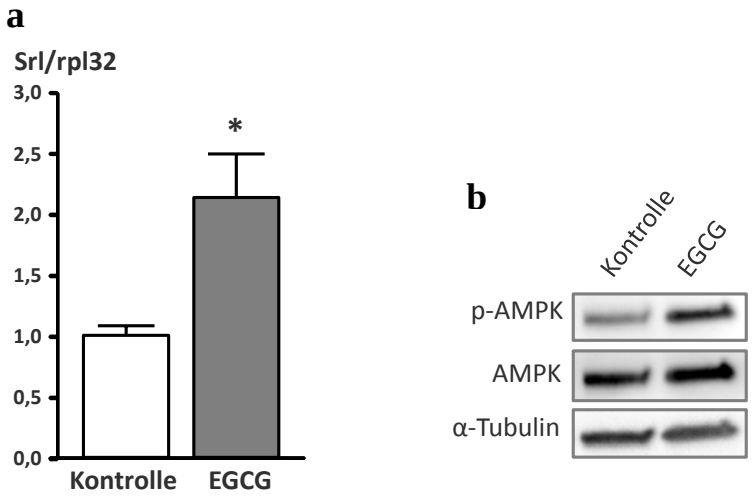


Abbildung 4: Einfluss einer 10tägigen Fütterung eines Epigallocatechingallat-reichen Grünteeextraktes (EGCG; 10 mg/ml) auf die Expression von spargel (Srl) sowie auf die p-AMPK Protein-Spiegel in männlichen Fruchtfliegen (*Drosophila melanogaster*) [11].

Auch die Expression weiterer, am Energiestoffwechsel beteiligter Gene, waren durch eine EGCG-Fütterung in den Fliegen beeinflusst. Neben einer signifikanten Hemmung des Leptin-Homologs *unpaired 2* (UPD2), wurde ebenfalls eine verringerte Expression des Insulin-Homologs *insulin like peptide 5* (ILP5) sowie der *Phosphoenolpyruvat-Carboxykinase* (PEPCK), dem Schlüsselenzym der Gluconeogenese, detektiert. Auf Grund der beobachteten Effekte von EGCG auf den Energiemetabolismus wurden auch die Glucose-Spiegel der Fliegen untersucht. Die EGCG-Fütterung resultierte in signifikant niedrigeren Glucose-Spiegel im Vergleich zur Kontrollgruppe. Gleichzeitig kam es durch EGCG zu einer Hemmung des Kohlenhydrat-spaltenden Enzyms Amylase, was zu einer Erniedrigung der Glucose-Spiegel in den Fliegen beiträgt. Mittels computerbasierten Rigid-Docking Analysen wurde Epigallocatechingallat als ein Inhibitor der Amylase identifiziert.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine EGCG-Fütterung sowohl die Lebensspanne verlängert wie auch die Fitness von *Drosophila melanogaster* verbessert. Die Amylase-Aktivität war in den mit EGCG behandelten Fliegen signifikant verringert, was in einer geringeren Energieaufnahme resultierte und schließlich zu einer signifikanten Reduktion der Glucose-Spiegel sowie zur Hemmung der am Energiestoffwechsel beteiligten Gene UPD2 und ILP5 führte. EGCG induzierte darüber hinaus das Enzym AMPK, was einerseits zur Hemmung der PEPCK und andererseits zur Induktion von Srl, dem zentralen Regulator der mitochondrialen Biogenese führte. Ein Energieüberschuss ist mit einem beschleunigten Alterungsprozess assoziiert, dem möglicherweise durch eine niedrigere Energieaufnahme wieder entgegengewirkt werden kann [12,13]. Aus diesem Grund postulieren wir, dass EGCG möglicherweise ein Mimetikum der kalorischen Restriktion darstellt, was in weiteren Studien geprüft werden sollte.

Referenzen

1. Rains, T.M.; Agarwal, S.; Maki, K.C., Antiobesity effects of green tea catechins: A mechanistic review. *J Nutr Biochem* **2011**, *22*, 1-7.
2. Cabrera, C.; Artacho, R.; Gimenez, R., Beneficial effects of green tea--a review. *J Am Coll Nutr* **2006**, *25*, 79-99.
3. Kim, H.S.; Quon, M.J.; Kim, J.A., New insights into the mechanisms of polyphenols beyond antioxidant properties; lessons from the green tea polyphenol, epigallocatechin 3-gallate. *Redox Biol* **2014**, *2*, 187-195.
4. Reygaert, W.C., The antimicrobial possibilities of green tea. *Front Microbiol* **2014**, *5*, 434.
5. Bartholome, A.; Kampkotter, A.; Tanner, S.; Sies, H.; Klotz, L.O., Epigallocatechin gallate-induced modulation of foxo signaling in mammalian cells and c. Elegans: Foxo stimulation is masked via pi3k/akt activation by hydrogen peroxide formed in cell culture. *Arch Biochem Biophys* **2010**, *501*, 58-64.
6. Bonilla-Ramirez, L.; Jimenez-Del-Rio, M.; Velez-Pardo, C., Low doses of paraquat and polyphenols prolong life span and locomotor activity in knock-down parkin drosophila melanogaster exposed to oxidative stress stimuli: Implication in autosomal recessive juvenile parkinsonism. *Gene* **2013**, *512*, 355-363.
7. Kitani, K.; Osawa, T.; Yokozawa, T., The effects of tetrahydrocurcumin and green tea polyphenol on the survival of male c57bl/6 mice. *Biogerontology* **2007**, *8*, 567-573.
8. Li, Y.M.; Chan, H.Y.; Huang, Y.; Chen, Z.Y., Green tea catechins upregulate superoxide dismutase and catalase in fruit flies. *Mol Nutr Food Res* **2007**, *51*, 546-554.
9. Lopez, T.; Schriner, S.E.; Okoro, M.; Lu, D.; Chiang, B.T.; Huey, J.; Jafari, M., Green tea polyphenols extend the lifespan of male drosophila melanogaster while impairing reproductive fitness. *J Med Food* **2014**, *17*, 1314-1321.
10. Niu, Y.; Na, L.; Feng, R.; Gong, L.; Zhao, Y.; Li, Q.; Li, Y.; Sun, C., The phytochemical, egcg, extends lifespan by reducing liver and kidney function damage

and improving age-associated inflammation and oxidative stress in healthy rats. *Aging Cell* **2013**, *12*, 1041-1049.
11. Wagner, A.E.; Piegholdt, S.; Rabe, D.; Baenas, N.; Schloesser, A.; Eggersdorfer, M.; Stocker, A.; Rimbach, G., Epigallocatechin gallate affects glucose metabolism and increases fitness and lifespan in drosophila melanogaster. *Oncotarget* **2015**, *6*, 30568-30578.
12. Bilinski, T.; Paszkiewicz, T.; Zadrag-Tecza, R., Energy excess is the main cause of accelerated aging of mammals. *Oncotarget* **2015**, *6*, 12909-12919.
13. Mitchell, S.E.; Delville, C.; Konstantopedos, P.; Hurst, J.; Derous, D.; Green, C.; Chen, L.; Han, J.J.; Wang, Y.; Promislow, D.E., *et al.*, The effects of graded levels of calorie restriction: Ii. Impact of short term calorie and protein restriction on circulating hormone levels, glucose homeostasis and oxidative stress in male c57bl/6 mice. *Oncotarget* **2015**, *6*, 23213-23237.

Verleihung der Johann-Heinrich-von-Thünen Medaille in Gold an Professor Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber

Einleitung

Seit 1966 vergab die Alfred Toepfer Stiftung F.V.S. zu Hamburg neben den Justus-von-Liebig-Preisen die Thünen-Medaille in Gold zur Auszeichnung bedeutender, richtungweisender betriebswirtschaftlicher Leistungen in der europäischen Landwirtschaft. Nachdem sie zunächst jährlich vergeben worden war, wurde sie ab 1983 alle zwei Jahre, und zwar im Wechsel mit den Justus-von-Liebig-Preisen, durch die Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel vergeben.
Die Alfred Toepfer Stiftung F.V.S. hat die Verleihung der Thünen-Medaille 2005 eingestellt und durch den neu geschaffenen Cultura-Preis ersetzt. Die Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät vergibt die Thünen-Medaille ab 2009 in Eigenregie im Abstand von drei Jahren.

Johann Heinrich von Thünen (1783 – 1850) entwickelte die Grundlagen der volkswirtschaftlichen Standortlehre. Er wies auf die Abhängigkeit der Bodennutzung von den Kosten, vor allem den Transportkosten hin, wie sie später von Alfred Weber und A. Predöhl weiterentwickelt worden ist. Mit seiner Lohn- und Zinslehre war er der Begründer der Produktivitätstheorie.

Über die Zuerkennung der Johann-Heinrich-von-Thünen-Medaille in Gold entscheidet ein Preiskuratorium, es besteht gegenwärtig aus sieben Mitgliedern, von denen die Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät außer dem Dekan vier weitere Professoren der Fakultät stellt. Die weiteren Mitglieder werden auf Vorschlag des Kuratoriums berufen.

Zum Zeitpunkt der Entscheidung über den Medaillenempfänger gehörten dem Kuratorium an:

Prof. Dr. Eberhard Hartung, Dekan der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät, als Vorsitzender,
Prof. Dr. Jens-Peter Loy, Kiel,
Prof. Dr. Friedhelm Taube, Kiel,
Prof. Dr. Georg Thaller, Kiel,
Prof. Dr. Joseph-Alexander Verreet, Kiel,
Werner Schwarz, Präsident des Bauernverbandes Schleswig-Holstein,
Hubertus Paetow, Finkenthal.

Dieses Kuratorium hatte die Medaille für das Jahr 2015 Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber, München-Weihenstephan, zuerkannt.

Die Auszeichnung gilt einem leidenschaftlichen Agrarwissenschaftler für seine ökonomisch-ökologisch orientierten Lösungsansätze zur Bewältigung von Umweltproblemen im ländlichen Raum. Sie ehrt einen Hochschullehrer und ganzheitlich denkenden Agronomen, der mit großem Charisma in die Gesellschaft hinein wirkt und so in Deutschland und Europa Orientierung für eine nachhaltige Entwicklung des Agrarsektors gibt.

Der Festakt zur Verleihung der Auszeichnung fand am Freitag, den 12. Juni 2015, 10.00 Uhr, im Emil-Lang-Hörsaal der Christian-Albrechts-Universität mit folgendem Programm statt:

Musik zur Eröffnung: Mozart: Duos für 2 Violinen. Nr. 5: 1. Allegro maestoso
Lea Marxen und Jochen Fischer, Mitglieder des Collegium Musicum der Christian-Albrechts-Universität,
Begrüßung: Prof. Dr. E. Hartung, Dekan der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät,
Laudatio: Prof. Dr. F. Taube, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Überreichung der Auszeichnung: Prof. Dr. E. Hartung, Dekan
»Agrarökonomie im Wandel der Zeit« - Festvortrag des Preisträgers
Musikalischer Ausklang: Mozart: Duos für 2 Violinen. Nr. 5: 3. Finale-Presto

Im Anschluss an den sehr gut besuchten Festakt fand im Festzelt vor dem Hörsaalgebäude ein Empfang zu Ehren des Preisträgers statt.

Abgerundet wurde die Veranstaltung durch eine Nachmittagsexkursion mit Besichtigung des Gutes Schmoel in Schwartbuck und der Trakenerzucht in Panker. Den Abschluss bildete eine Kaffeetafel im Restaurant „Ole Liese“ in Panker.[1)]

Im Folgenden werden wiedergegeben: die Rede des Dekans Prof. Dr. E. Hartung, die Laudatio von Prof. Dr. F. Taube und die Festansprache des Preisträgers Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber.

---

1) Wir danken den Sponsoren: ACT GmbH Kiel, Vereinigte Hagelversicherung VVaG Bezirksdirektionen Rendsburg und Nürnberg, Gesellschaft der Freunde der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät e.V.

Grußwort

Prof. Dr. E. Hartung

Dekan der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät

(Prof. Dr. E. Hartung, Dekan)

Laudatio

Prof. Dr. Friedhelm Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Lieber und sehr geehrter Herr Kollege Heißenhuber, Frau Vizepräsidentin Schwarz, Spektabilität, liebe Familie Heißenhuber, liebe Frau Zehetmeier, meine sehr verehrten Damen und Herren!
Die Satzung zur Verleihung der Johann-Heinrich von Thünen Medaille führt unter dem Punkt 1 folgendes aus: Ich zitiere:

1. ZWECK DER AUSZEICHNUNG

Mit der **Johann-Heinrich-von-Thünen-Medaille in Gold** werden Persönlichkeiten ausgezeichnet, die sich um die Landwirtschaft in Europa und angrenzender Bereiche durch überragende, richtungsweisende Leistungen unter Einbeziehung wissenschaftlicher Erkenntnisse besonders verdient gemacht haben. Die Auszeichnung soll die Entwicklung in der europäischen Agrarwirtschaft sowie deren Ansehen in der Öffentlichkeit fördern. - Ende des Zitats

Meine Damen und Herren, Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber hat sich im Sinne der Satzung zur Vergabe der Thünen-Medaille uneingeschränkt verdient gemacht. Die Auszeichnung gilt einem leidenschaftlichen Agrarwissenschaftler für seine ökonomisch-ökologisch orientierten Lösungsansätze zur Bewältigung von Umweltproblemen im ländlichen Raum. Sie ehrt einen Hochschullehrer und ganzheitlich denkenden Agronomen, der mit großem Charisma in die Gesellschaft hinein wirkt und so in Deutschland und Europa Orientierung für eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Entwicklung des Agrarsektors gibt.
Bevor ich auf seine spezifischen Verdienste eingehe, lassen Sie mich Ihnen seinen Werdegang erläutern, denn aus diesem Werdegang resultiert nicht nur sein Beitrag zum Erkenntnisfortschritt, sondern auch die Überformung seiner fachlichen Qualifikation, ja Mission, durch seine Persönlichkeit: seine persönlichen Interessen und Prägungen, seine Liebe zur Landwirtschaft und Natur gleichermaßen und sein Ethos Arbeit, Leistung, Verantwortungsbewusstsein betreffend. All dies hat ihn zu dem respektierten und geschätzten Agronomen und Systemwissenschaftler gemacht, der er heute ist und den wir heute ehren.

Alois Heißenhuber wurde am 6. April 1948 als 6. Kind des Landwirtsehepaares Heißenhuber in Attenkaisen im Landkreis Dingolfing-Landau in Bayern geboren.
Nach dem Schulabschluss erfolgte eine landwirtschaftliche Lehre mit erfolgreich abgeschlossener Gehilfenprüfung, danach der Besuch der Ingenieurschule für Landbau in Schönbrunn bei Landshut mit dem Abschluss Agraringenieur, gleichbedeutend mit der Erlangung der allgemeinen Hochschulreife und schließlich von 1970 bis 1974 das Studium der Agrarwissenschaften an der technischen Universität München in Weihenstephan.
Also bis dahin eine klassische Landwirtschaftsausbildung von der Picke auf, abgeschlossen und gekrönt durch einen akademischen Universitätsabschluss.
Seine Leistungen in der Lehre und im Studium waren von Anfang an vorbildlich, was ihm bereits während des Studiums in Weihenstephan ein Stipendium der Studienstiftung des deutschen Volkes einbrachte mit der Möglichkeit, einen direkten Übergang vom Studium in ein Promotionsstipendium zu vollziehen.
Aber Alois Heißenhuber ist schon damals eigene und nicht unbedingt die einfachen Wege gegangen. Er hat nämlich dieses Promotionsstipendium nicht angenommen, sondern sich stattdessen entschlossen, direkt nach dem Abschluss des Agrarstudiums 1974 und 1975 ein Ergänzungsstudium in den Fächern Pädagogik und Psychologie durchzuführen, mit dem Referendariat zu kombinieren und schließlich 1976 mit dem Staatsexamen für das Lehramt an Beruflichen Schulen abzuschließen.
Und auch nach diesem Examen zog es ihn noch nicht zurück in die Wissenschaft, sondern zunächst für 3 Jahre in den Schuldienst, wo er erfolgreich als Studienrat wirkte. Erst nach dieser Tätigkeit kehrte er 1979, also heute würden wir bezüglich schneller Karrierewege sagen, im fortgeschrittenen Alter von 31 Jahren' zurück an die Alma Mater, um als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Professor Steinhauser in Weihenstephan eine Dissertation zum Thema „Ökonomik der Gewinnung und Verfütterung von aufgeschlossenem Getreidestroh" im Fach Wirtschaftslehre des Landbaus zu verfassen, mit der er 1982 promovierte.
Erst danach entschloss er sich zu einer wissenschaftlichen Karriere, maßgeblich befördert durch seinen Lehrer Prof. Steinhauser. Und er legte das Fundament für sein ganz persönliches Profil, die Schnittstelle zwischen der klassischen landwirtschaftlichen Betriebslehre und der angewandten Umweltökonomie eingebettet in den Forschungsgegenstand der bayrischen Landwirtschaft als Triebfeder für die Entwicklung des ländlichen Raums. Bereits 1987, also gerade 5 Jahre nach seiner Promotion, wurde ihm vom Präsidenten der TU München-Weihenstephan der Thurn und Taxis Förderpreis für Landwirtschaft verliehen. In der Begründung des Preiskuratoriums hieß es damals:

Herr Dr. agr. Alois Heißenhuber erhält die Auszeichnung für hervorragende wissenschaftliche Leistungen, insbesondere für seine fundierten Untersuchungen zur notwendigen Eigenkapitalbildung landwirtschaftlicher Betriebe, die grundlegenden Arbeiten zur ökonomischen Quantifizierung der Bodenerosion, die umfassenden Berechnungen zur Ermittlung der optimalen speziellen Intensität in der Rindermast sowie die erfolgreichen Bemühungen, ökologische Probleme in ökonomischen Arbeiten vermehrt zu berücksichtigen.

Meine Damen und Herren, das stellen Sie sich in der heutigen akademischen Welt einmal vor, nicht nur in der von Präsident Herrmann in Weihenstephan, sondern auch in der unsrigen, der Welt der Fokussierung auf die kleinste publizierbare Einheit, die Welt der Spezialisten. Wenn ein Kuratorium heute – vornehmlich zusammengesetzt aus Molekularbiologen und Ökosystemmodellierern eine solche Bewerbung für die Auszeichnung als bester Nachwuchswissenschaftler eines Fachgebiets auf dem Tisch liegen hätte, würde es nur heißen:
„Der Mann kann sich nicht fokussieren, der ist ja weder ein richtiger Ökonom noch ein richtiger Ökologe und der hat noch nicht mal in Journalen mit sehr hohem Impact Faktor publiziert, - also ab auf den Stapel für „völlig ungeeignet".
Tatsächlich war Heißenhuber in der Mitte der 80er Jahre mit diesem Profil ein ziemlich ungewöhnlicher Zeitgenosse als Nachwuchswissenschaftler an einer Agrarfakultät in Deutschland, es war die Zeit der ersten Lehrstuhlgründungen für den ökologischen Landbau und es war auch die Zeit der ideologischen Auseinandersetzungen zwischen den reinen Lehren auf dem Campus, damals noch dominiert von den Arrivierten, für die in der Breite die ökologische Forschung eher von jenen betrieben wurde, die man verächtlich als „Müslifresser" titulierte…., zumindest solange man unter sich war.
Also warum erhielt er schon damals diese frühe Auszeichnung?

Weil er von Anfang an authentisch war, weil er, aufbauend auf seinen ethischen Überzeugungen als Triebfeder, auf klar fundierter wissenschaftlicher Basis in sachlicher Form Probleme, Umweltprobleme adressierte, die offensichtlich waren und weil es ihm damit gelang, von Anfang an die Betroffenen und Verursacher mitzunehmen. Und die Adressaten waren damals wie heute die gleichen: Als erstes die Landwirte, dann die verantwortlichen Gruppen und die Öffentlichkeit im ländlichen Raum und natürlich die Politik. Heißenhuber wollte von Anfang an etwas bewegen, wollte seine Erkenntnisse umgesetzt sehen und umgesetzt wissen. Er war zudem tief verwurzelt in seiner bayrischen Heimat, er sprach also auch immer zu den Seinen, wenn er seine Erkenntnisse mit Verve vortrug. So war er von Beginn seines Wirkens an auch politisch eindeutig zuzuordnen:

Ein grüner, sozial Mitdenkender, bewahrend-konservativ liberaler Mensch! Diese klare politische Prägung schaffte und schafft ihm Zugang zu vielen Gruppen, ‚stakeholdern' würden wir heute sagen.
Meine Damen und Herren, bevor jetzt auf Basis der vorgelegten Informationen der Eindruck entsteht, na ja der Heißenhuber war vornehmlich auf Bayern fokussiert und dort der Mitwegbereiter des abweichenden bayrischen Weges in der deutschen Agrarpolitik, - bevor das geschieht, ist auf seine vielseitigen internationalen Kontakte hinzuweisen, die ebenfalls bereits in den 1980er Jahren ihren Anfang nahmen.
Zunächst noch vor seiner Habilitation im Jahre 1989 schon etliche Forschungsaufenthalte in Japan, die auf der Auszeichnung mit dem Thurn und Taxis Preis beruhten, denn dort hatte er annonciert, dass er mit dem Preisgeld die Parallelen zwischen der japanischen und deutschen Landwirtschaft im Vergleich zur amerikanischen Landwirtschaft („Agrikultur" versus „farming") wissenschaftlich untersuchen wollte, was im Übrigen vor einigen Jahren in der Übersetzung seines Buches „Landwirtschaft und Umwelt" ins japanische mündete. Später folgten dann Arbeiten in Tschechien, Bulgarien und Aserbeidschan. Das war dann allerdings schon zu seiner aktiven Zeit als Ordinarius des Lehrstuhls für die Wirtschaftslehre des Landbaus, der Position, die er von 1996 bis zu seinem Ausscheiden aus dem offiziell aktiven Dienst 2013 bekleidete. Und für diese intensiven Aktivitäten und Befassungen mit Agrar- und Umweltproblemen in den ehemaligen Staaten des Warschauer Paktes wurde ihm schließlich von der Thrakischen Universität Stara Zagora in Bulgarien im Jahre 2003 die Ehrendoktorwürde verliehen. Zusätzlich erhielt er 2012 von der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Tschechischen Universität für Landwirtschaft in Prag für sein dortiges langjähriges Engagement beim Aufbau der Fakultät den Goddess Gaia Preis. Eine Auszeichnung über die er sich seinerzeit auch aufgrund der Namenswahl des Preises sehr gefreut hat, eine Namenswahl, die für eine ökonomisch ausgerichtete Fakultät nicht alltäglich ist.
Seine frühe und intensive Befassung mit dem verknüpften Themenkomplex Ökonomie & Ökologie und seine vielfältigen Schriften und Lösungsansätze im agrarpolitischen Kontext trugen seit der Jahrhundertwende mehr und mehr Früchte, denn das Thema war inzwischen in der Mitte der Gesellschaft und damit auch in der Bundespolitik angekommen. Folgerichtig wurde Heißenhuber 2003 in den wissenschaftlichen Beirat Agrarpolitik beim Bundeslandwirtschaftsministerium berufen, eine Position, die er bis zu seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst innehatte, und eine Position, die ihn im Konzert der Kollegen zum Mahner und Fürsprecher der ökologischen Argumente machte. 2007 wurde er zusätzlich in den Beirat für Biodiversität und genetische Ressourcen beim BMELV berufen – er war somit ein zentraler Berater der bundesdeutschen

Agrarpolitik aus der Wissenschaft. An insgesamt 14 Gutachten und Stellungnahmen wirkte er in dieser Zeit mit, von Gutachten zur Nutztierhaltung im Jahre 2005 über das viel beachtete Gutachten zur Bioenergieerzeugung im Rahmen des EEG (dazu kann man nur ergänzen: ach hätte die Politik die Gutachter doch vor der Verabschiedung des EEG befragt und sich nach Ihrem Urteil gerichtet…und nicht erst nachdem das Kind in den Brunnen gefallen war) bis hin zur Weiterentwicklung der Politik der ländlichen Räume und zur Ernährungssicherung und nachhaltigen Produktionssteigerung. Er war gerade auch bei dem letztgenannten Gutachten zur Ernährungssicherung und nachhaltigen Produktionssteigerung der Mahner, der dafür Sorge zu tragen versuchte, dass es nicht zu lesen sein sollte wie ein Positionspapier im Sinne von „Deutschland muss die Welternährung sichern". Und doch kam es zumindest teilweise so: Ein Teil des „agrarindustriellen Komplexes" las daraus die Aufforderung, den Diskurs zwischen Produktionssteigerung und dem Schutz natürlicher Ressourcen wieder zugunsten der Produktion zu verschieben und die Bioökonomieinitiative des Wissenschaftsministeriums tat ein Übriges in diese Richtung. Dies ist umso bemerkenswerter, als die Autoren des ursprünglichen Positionspapiers zur Zukunft der Landwirtschaft in Europa und der Welt, Garnett und Godfray von der Royal Society London, 2009, genau diese Fehl-Interpretation des Ursprungsbegriffs „sustainable Intensification" vermeiden wollten. Zur Klarstellung publizierten sie 2012 Ihren sogenannten Navigationskurs zur nachhaltigen Intensivierung und modifizierten die Begrifflichkeit dahingehend, dass sie von **ökologischer** Intensivierung statt nachhaltiger Intensivierung sprachen – das ist etwas deutlich anderes als die Einengung auf „nachhaltige Produktionssteigerung". Dies bezieht die nachhaltige Ernährung und auch die ethische Reflektion mit ein. Wissenschaftliche Analysen im Bereich Agrarische Produktion und Ernährung, also speziell die Agrar- und Ernährungswissenschaften, müssen diese Erweiterung der „relevanten Disziplinen" bis hin zu den Geistes- und Sozialwissenschaften als notwendig erkennen, um ausgewogene Urteile gerade zur Zukunft des Agrarsektors im transdisziplinären Kontext ableiten zu können.
Auch diesen Weg, meine Damen und Herren, hat Heißenhuber beschritten bzw. besser gesagt, beschreitet er auch derzeit intensiver als je zuvor.

Als Relativierung der Bedeutung der „reinen Lehre der Produktionssteigerung" zur Reduktion von Hunger hat sein wissenschaftlicher Mitarbeiter Axel Woitowitz in einer viel beachteten Dissertation aus dem Jahr 2007 gezeigt, dass die Konsummuster der Bevölkerung der wohl viel größere Hebel in Industrieländern sind, um weltweite Knappheiten an Agrarrohstoffen zu reduzieren. Allein die Dimension, dass ¼ der LN Deutschlands (also etwa 4 Mio ha) frei gesetzt würden, wenn die Ernährung der Gesamtpopulation in Deutschland entspre-

chend der Empfehlungen der DGE erfolgen würde, macht dies deutlich und auch die Arbeiten von Frau Zehetmeier zur optimalen Intensität und Betriebszweigausrichtung in der Milcherzeugung brechen klassische Pfadabhängigkeiten auf, indem nicht nur die Optimierung innerhalb bestehender Systeme ökonomisch analysiert wird, sondern auch Systemwechsel analysiert werden, die z.B. unter Berücksichtigung der Treibhausgasemissionen zeigen, dass Zweinutzungsrassen eine günstige Option darstellen können.

Und damit, meine Damen und Herren, sind wir beim zweiten Teil für die Begründung, diese Auszeichnung an Alois Heißenhuber zu vergeben. Der erste Teil hieß: Anerkennung und Dank für das Geleistete, Anerkennung und Dank dafür, sehr früh weiter gesehen zu haben als viele andere, was auf die praktische Landwirtschaft im Hinblick auf eine umweltverträgliche Nutzung der Ressourcen zukommt und worauf sie sich im Hinblick auf gesellschaftliche Forderungen im Sinne des Gemeinwohls einzurichten hat, denn landwirtschaftliches Unternehmertum braucht diese Risikoabschätzungen nach allen Seiten, um Investitionen in die Zukunft zu tätigen. Mit gleicher Verve und immer mit dem Mut, die Wahrheit zu suchen und zu bekennen, hat er jedoch auch stets die Leistungen der Landwirtschaft bei den ‚Nichtagrariern' als Adressaten gewürdigt und so seine breite gesellschaftliche Anerkennung fundiert.

Der zweite Teil heißt; Aufforderung und Verpflichtung weiter zu machen. Weiterhin auch in Zukunft die heute unbequemen Fragen zu stellen und diese unbequemen Fragen mit wissenschaftlichen Methoden in ein experimentelles Design zu gießen und zu analysieren.
Und damit auch dem landwirtschaftlichen Sektor weiter Kompass zu sein, worauf er einerseits sehr berechtigt stolz sein kann und worauf er andererseits mehr als bisher zu achten hat. Wie er zunehmend neben den Umweltwirkungen der Produktion landwirtschaftlicher Güter auch sich wandelnde gesellschaftliche Präferenzen und ethische Aspekte in das Umfeld der Entscheidungen für Investitionen einfließen lassen muss.
Die Definition von ‚Nachhaltiger Intensivierung' für die europäische Landwirtschaft an konkreten Beispielen ist das Objekt seiner derzeitigen und ich hoffe auch künftigen Arbeiten. Gemeinsam mit den europäischen Kollegen Allen Buckwell und Winfried Blum aus verschiedensten Disziplinen hat er im Jahr 2014 einen umfangreichen Report als Buch zur nachhaltigen Intensivierung der europäischen Landwirtschaft vorgelegt, der im Rahmen einer zentralen Veranstaltung unterstützt von der RISE Foundation auf der Expo in Mailand in zwei Wochen prominent diskutiert werden wird.

Lieber Herr Heißenhuber, Sie erkennen daraus, das Preiskuratorium, die Fakultät und Sie alle, meine Damen und Herren, die zu Ihren Ehren heute hier sind, wünschen Ihnen weiterhin Tatkraft und Energie, um Ihre Arbeiten für die deutsche und europäische Landwirtschaft fortzuführen.
Und mit diesen guten Wünschen auch von mir an Sie und die Ihren, möchte ich schließen und bedanke mich für die Aufmerksamkeit!

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.) ; Hoffmann, Helmut (Prof. Dr.): Honorierung einer multifunktionalen Landwirtschaft - Begründung und Perspektiven. Ländlicher Raum print (5/2002), 2002

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.) ; Pahl, Hubert (Dr.) ; Schönberger, Wolfgang: Ökonomische Konsequenzen einer gesellschaftlich akzeptierten Tierhaltung. KTBL-Schrift (H. 408), 2002

Wirtschaftlichkeit und Möglichkeiten des Wachstums von Milchviehbetrieben in Bayern. Züchtungskunde (H.6), 2001

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.): Stoff- und Energiebilanzen: Wichtige Indikatoren für die Umweltverträglichkeit von Produktionsverfahren. Agrarwirtschaft (H.7), 1999, S.249-250

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.) ; Pfadenhauer, Jörg (Prof. Dr.): Weiterentwicklung, Vergleich und Bewertung ausgewählter Modelle zur Verknüpfung ökonomischer Daten/Entwicklung von Landnutzungsszenarien und Beurteilung ihrer landschaftsökologischen Auswirkungen

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.): Landbewirtschaftung unter veränderten Rahmenbedingungen - Konsequenzen veränderter Verzehrgewohnheiten und des technischen Fortschritts -. Ber.üb. Landwirtschaft (H.1), 1998

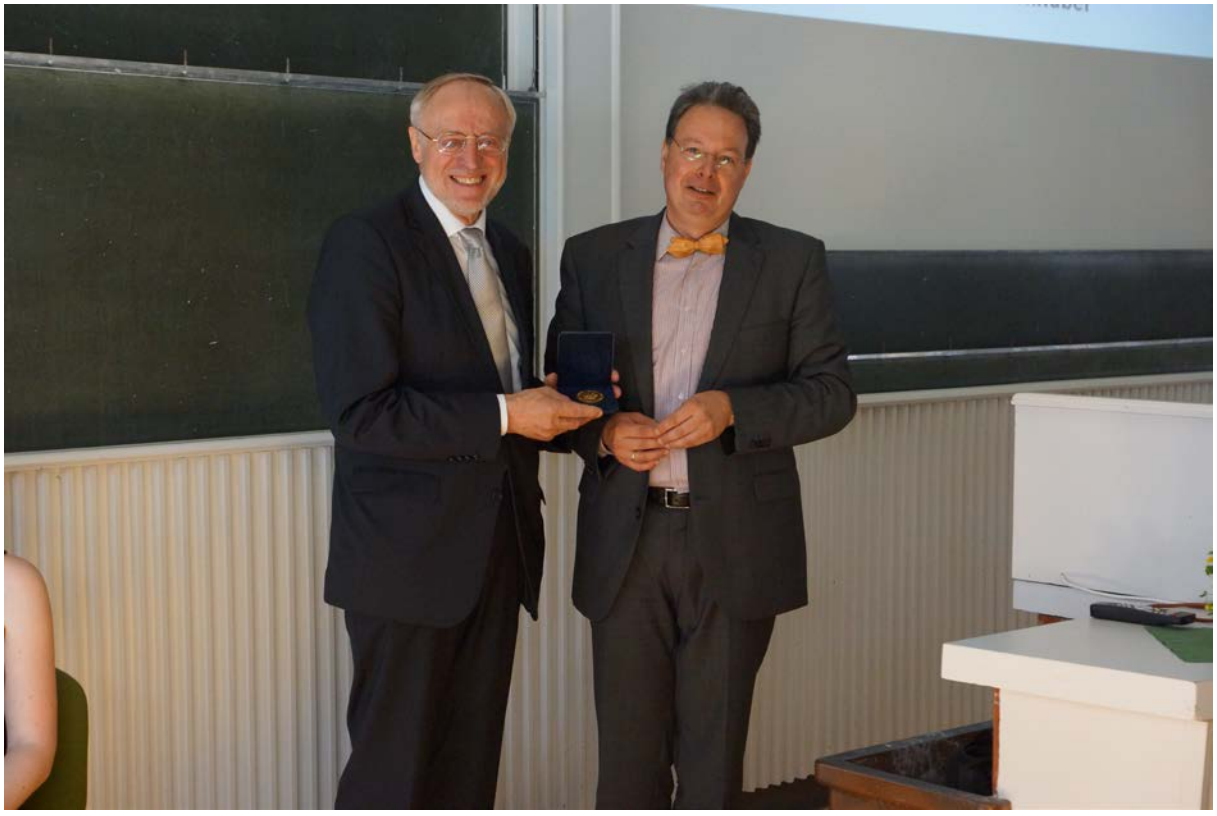
Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.) ; Köbler, M.: Die Landwirtschaft im Spannungsfeld von AGENDA 21 und AGENDA 2000. Die Bauern nicht dem Weltmarkt opfern! Lebensqualität durch ein europäisches Agrarmodell, 1999

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.): Vor- und Nachteile ausgewählter Strukturelemente in der Agrarlandschaft aus ökonomischer Sicht. Z.f. Kulturtechnik und Landesentwicklung (49(1999)), 1999, S. 108-112 mehr

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.): Naturschutz als ökonomische Herausforderung. Norddeutsche Naturschutz Akademie (H.1), 1997, S.63-71

Heissenhuber, Alois (Prof. Dr. Dr. h.c.): Rechtsformen landwirtschaftlicher Unternehmen. Organisation und Steuerung landwirtschaftlicher Unternehmen (Agrarmanagement) , 1997 (Übersetzung auf Bulgarisch), 1997,

(Prof. Dr. F. Taube, Laudatio)



(von links: Prof. Dr. Dr. h.c. A. Heißenhuber, Prof. Dr. E. Hartung)

Agrarökonomie im Wandel der Zeit

Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber

München-Weihenstephan

(Prof. Dr. Dr. h.c. A. Heißenhuber)

Eure Spektabilität, Herr Dekan Professor Hartung,
sehr geehrtes Kuratorium,
sehr geehrte Professorinnen und Professoren der Christian-Albrechts-Universität,
sehr geehrte Ehrengäste aus Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft,
sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Freunde aus nah und fern,
für Ihr Kommen zur heutigen akademischen Feier aus Anlass der Überreichung der Johann-Heinrich-von-Thünen-Medaille in Gold bedanke ich mich ganz herzlich.

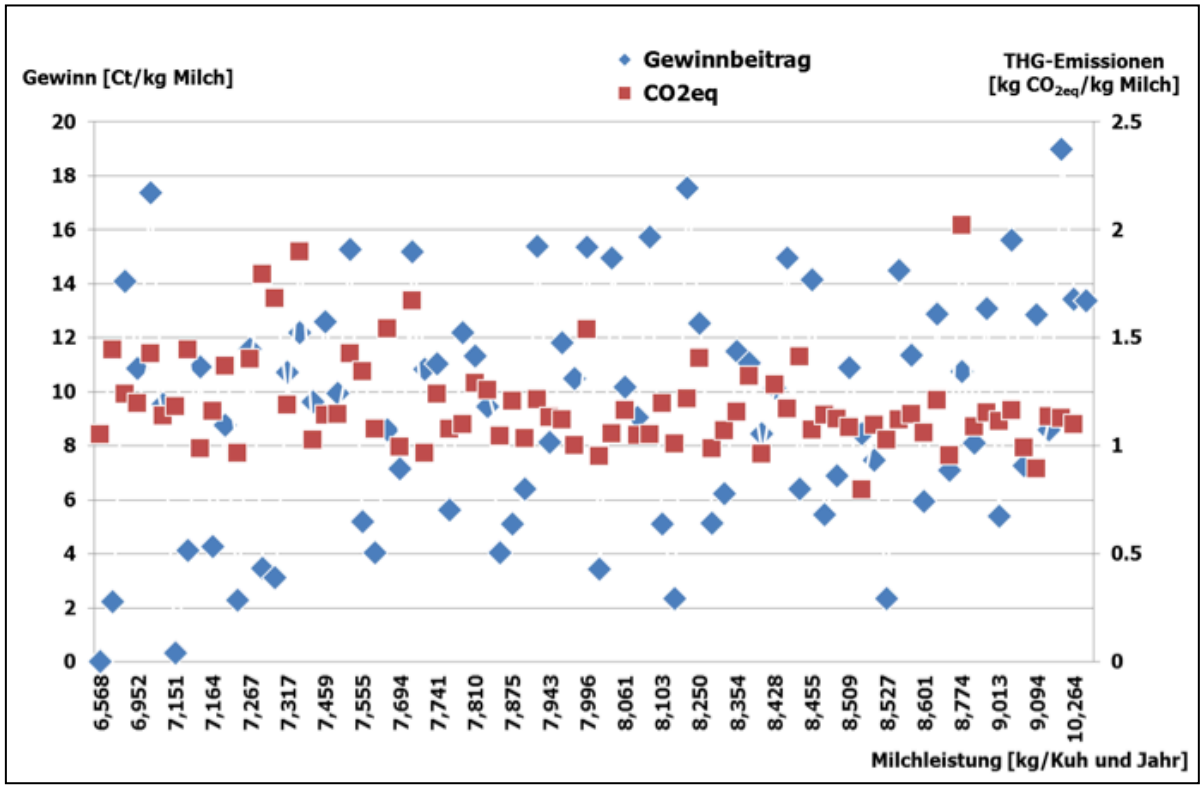
Im Dezember des vergangenen Jahres erhielt ich einen Brief vom Dekan der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät, Herrn Professor Hartung mit dem Hinweis auf einen Beschluss des Kuratoriums der Johann-Heinrich-von-Thünen-Medaille in Gold verbunden mit der Frage, ob ich diese Auszeichnung annehme. In dem Moment gehen einem viele Gedanken durch den Kopf. Wie kommen die auf mich? Wie komme ich zu dieser Ehre? Ich maße mir nicht an, auf diese Fragen eine Antwort zu finden. Auf jeden Fall wurde beim Lesen der wohlige Schrecken alsbald von einer Freude überlagert, insbesondere über die in dem Brief angesprochene Begründung, die müssen mich und meine Arbeit aber gut kennen, war mein Gedanke. Aber eigentlich kann ich nicht von meiner Arbeit sprechen, sondern von unserer Arbeit. Die Ehre gebührt auch meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die über viele Jahre hinweg an der wissenschaftlichen Durchdringung der Themen mitgewirkt haben. Stellvertretend danke ich Frau Dr. Monika Zehetmeier, die heute mit dabei ist. Sie vermittelt auf vorbildliche Weise unsere Ideen und Ergebnisse auf nationaler und internationaler Ebene.
Sehr geehrter Herr Prof. Taube, Ihnen danke ich ganz herzlich für Ihre überaus freundliche Laudatio. Natürlich freue ich mich über das Lob, wer hätte etwas dagegen, wenn positiv über jemand gesprochen wird, aber das auch noch selbst anzuhören, das kommt schon einer Ausnahmesituation gleich.
In meinem nun folgenden Vortrag möchte ich über „Agrarökonomie im Wandel der Zeit“ sprechen. Dabei erlaube ich mir, in der Vergangenheit zu beginnen. Nicht zuletzt auch deshalb, weil wir daraus vielleicht die eine oder andere auch für unsere aktuelle Arbeit nützliche Erkenntnis gewinnen können.

Ursprünge der Agrarwissenschaften und der Agrarökonomie

Ökonomie bedeutet im ureigensten Sinne einen haushälterischen Umgang mit den Ressourcen. Die Ursprünge der Agrarökonomie finden sich in einer Art Ratgeberliteratur, der sogenannten Hausväterliteratur. Ein diesbezüglicher Autor ist eine uns allen bekannte Person, nämlich Johann Wolfgang von Goethe. Er war in seinem Leben u.a. auch Minister für den Staat Thüringen. Ein Anliegen von ihm war es, dazu beizutragen, dass Hungersnöte vermieden werden. In diesem Zusammenhang schrieb er in dem Buch „Wilhelm Meisters Lehrjahre“ von 1795/96, ein Bildungsroman, der zur „Hausväterliteratur“ gezählt werden konnte, den Ratschlag „(...) gebackenes Brot ist schmackhaft und sättigend für einen Tag; aber Mehl kann man nicht säen und die Saatfrüchte sollen nicht vermahlen werden“. Die aus unserer heutigen Sicht banale Empfehlung an den Landwirt gilt heute noch in vielen Ländern. Bereits bei der Ernte muss ein Teil für die nächste Aussaat abgezweigt und vor Schädlingen gesichert aufbewahrt werden. Trotz großen Hungers darf das Saatgut nicht verzehrt werden. Bei der

Aussaat wird dann darauf gehofft, dass die geerntete Menge mehrfach höher liegt, was aber keine Selbstverständlichkeit war. Man denke nur daran, dass die ausgesäten Körner vertrocknen oder verfaulen oder von Tieren gefressen werden können. Insofern bestand seinerzeit die Ertragsangabe darin, das Wievielfache der Aussaatmenge geerntet wurde, je mehr, desto besser. Der höchstmögliche Ertrag war das oberste Ziel des Landwirts in diesen Zeiten.
Im Zeitablauf gehen wir einen Schritt weiter und treffen mit Albrecht Daniel Thaer (1752 – 1828) eine Person, die wohl als Begründer der Agrarwissenschaften bezeichnet werden kann. Albrecht Daniel Thaer war Mediziner, Leibarzt des Kurfürsten von Hannover und Landwirt mit einem großen Versuchsbetrieb. Dort hat er viele seiner Erkenntnisse gewonnen und seine Ideen ausprobiert. Insbesondere war ihm an der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gelegen. Dabei erschien ihm der Humus eine wichtige Rolle zu spielen. 1810 wurde er Professor an der Universität Berlin und entwickelte in seinen „Grundsätze der rationellen Landwirthschaft“ (1809-1812) eine neue Sichtweise: Nicht mehr der höchste Ertrag, sondern der höchste Gewinn sei anzustreben. Mit anderen Worten, es nützt nichts, einen besonders hohen Ertrag zu erwirtschaften, wenn der damit verbundene Aufwand zu hoch ist. Diese Erkenntnis gilt bis heute. So liegt z.B. in den USA der Weizenertrag bei rund 30 dt/ha im Gegensatz zu Deutschland mit über 70 dt/ha. Sicher wären die Landwirte in den USA auch in der Lage, deutlich höhere Erträge zu erzielen, das würde sich aber nicht lohnen. Ähnlich verhält es sich mit der Milchleistung. Diese liegt z.B. in Irland oder in Neuseeland mit etwa 5.000 kg/Kuh und Jahr deutlich niedriger als in Deutschland. Eine höhere Milchleistung lohnt sich dort unter den gegebenen Bedingungen nicht. In diesem Zusammenhang liegt es nahe, die Verhältnisse in der Praxis etwas näher zu betrachten. Wie eine Auswertung von Zehetmeier und Zerhusen (2015) anhand von rund 90 Praxisbetrieben mit Daten des Jahres 2013 zeigt (vgl. Abb. 1), bringt der höchste Ertrag (Milchleistung) nicht generell den höchsten Stückgewinn, wenngleich der Gewinn pro Kuh durch den Mengeneffekt steigt. Üblicherweise wird die Milchleistung als maßgebliches Kriterium für den Gewinn angesehen oder anders gesagt, bei einem unbefriedigenden Gewinn wird die Steigerung der Milchleistung meist als erste Maßnahme zur Gewinnerhöhung empfohlen. In allen gängigen Rechenmodellen besteht ein sehr enger positiver Zusammenhang zwischen Milchleistung und Gewinn. Wie die Realität zeigt, wird der Gewinn offensichtlich von vielen anderen Faktoren beeinflusst, diese gilt es ebenfalls zu berücksichtigen. Insofern lohnt es sich auch heute noch, die Aussage von Thaer zu beachten. Nebenbei sei darauf hingewiesen, dass in Abb. 1 noch eine weitere Information dargestellt wurde, nämlich der CO_2-Footprint. Auf diesen Aspekt wird später noch eingegangen.

Abb. 1: Gewinn und THG-Emissionen je kg Milch in Praxisbetrieben (in Abhängigkeit von der Milchleistung)



Quelle: Zehetmeier, M. und Zerhusen, B. (2015): Treibhausgas-Emissionen (in $CO_{2\text{-eq}}$) und Gewinn ausgewählter Milchviehbetriebe in Bayern. Unveröffentlichtes Manuskript, Landesanstalt für Landwirtschaft.

Im Zeitablauf gehen wir eine Generation weiter und treffen mit Johann Heinrich von Thünen (1783 – 1850) einen Schüler von Thaer. Er war ebenfalls Wissenschaftler und Landwirt. Auch von Thünen verfügte über einen großen Versuchsbetrieb. Eine wichtige Erkenntnis von ihm war: nicht der absolut höchste Gewinn ist maßgeblich, sondern die relative Wettbewerbskraft. Je nach betrieblicher Situation (z.B. Ausstattung mit Arbeitskräften und Fläche) wird ein Betrieb Produktionsverfahren wählen, die für ihn am besten passen, auch wenn sie absolut eine geringere Wettbewerbskraft aufweisen. So ist z.B. der Gewinn je Flächeneinheit im Getreidebau niedriger als mit Milchkuhhaltung, ein Betrieb mit viel Fläche und relativ wenigen Arbeitskräften wird dennoch den Getreidebau bevorzugen. Von Thünen lieferte darüber hinaus grundlegende Arbeiten zur Standortlehre (eine steigende Entfernung zur Stadt verlangt eine Änderung der Bewirtschaftungsweise) und ebenso zur Bodenfruchtbarkeit, die durch seine landwirtschaftliche Tätigkeit empirisch untermauert waren. Ebenso wie Thaer verknüpfte von Thünen Theorie und Empirie. Gegen Ende seines Lebens befaß-

te sich von Thünen mit einem gerade auch heute sehr aktuellen Thema, nämlich der Frage nach dem „natürlichen“, wir können auch sagen nach dem gerechten Lohn. Das Thema war ihm so wichtig, dass er seine Erkenntnisse in einer Formel zum Ausdruck brachte und diese auf seinen Grabstein, der in Prebberede-Belitz steht, eingravieren ließ. Wer will, kann die besagte Formel dort ablesen oder einfach im Internet nachsehen. Seine damaligen Erkenntnisse können nicht einfach auf die heutigen Verhältnisse übertragen werden, belegen aber doch sein Anliegen.

Organismuscharakter landwirtschaftlicher Betriebe

Wir machen nun einen Sprung in die 20er Jahre des 20. Jahrhunderts und treffen auf Theodor Brinkmann (1877 – 1951), einem Bonner Agrarökonomen. Im Gegensatz zu Thaer und zu von Thünen befasste er sich nicht so sehr mit einzelnen Produktionsverfahren sondern mehr mit dem Betrieb als Organismus. Er unterschied zwischen integrierenden und differenzierenden Kräften. Die einen drängen den Betrieb in Richtung Vielseitigkeit, so erfordern z.B. die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit oder die Risikominderung eine vielseitige Fruchtfolge. Bei den differenzierenden Kräften handelt es sich um die äußeren Standortfaktoren wie den natürlichen Gegebenheiten, die Lohnkosten und den Verkaufserlös – sie drängen eher zur Spezialisierung. Aus dem Zusammenspiel von differenzierenden und integrierenden Kräften ergibt sich dann die jeweils optimale Betriebsorganisation. Diese Sichtweise verlangt eine ganzheitliche Betrachtung des Betriebes und so war es Brinkmann, der die landwirtschaftliche Betriebslehre als systemische Wissenschaft definierte.

Betriebsmodelle

Nach dem 2. Weltkrieg standen der Wissenschaft leistungsfähige Rechner zur Verfügung, die eine detaillierte Abbildung der Betriebe ermöglichte. Als dominierende Methode hat sich die Lineare Optimierung bzw. Programmierung herausgestellt. Damit war es möglich, sehr große Datenmengen in komplexen Modellen zu verarbeiten. Erfaßt wurden die Daten in einer Matrix, mit den Aktivitäten (z.B. Produktionsverfahren) in den Spalten und den Begrenzungen in den Zeilen. Ein Kollege machte sich seinerzeit die Mühe, die komplette Matrix für einen Betrieb auf Papier darzustellen. Diese Matrix umfasste eine ganze Wand seines Arbeitszimmers. Solche Rechenmodelle bieten die Möglichkeit, einen Betrieb sehr detailliert abzubilden, sie verleiten aber auch dazu, die möglichen Unsicherheiten zu verdrängen, als ob die angenommenen Daten in der Realität auch so gegeben seien. Gerade was Preise und Erträge angeht, trifft das nur sehr eingeschränkt zu. In aufwendigeren Ansätzen wurde auch dem Aspekt der Un-

sicherheit Rechnung getragen. Dennoch, die Ergebnisse hängen ganz wesentlich von den Modellannahmen und von den gewählten Restriktionen ab.

Neue Restriktionen

In den Betriebsmodellen wurden üblicherweise Restriktionen für die Fläche, die Arbeit und für die Fruchtfolge berücksichtigt. So war es aus langjähriger Erfahrung klar, dass z.B. Raps nur mit maximal 33 % in der Fruchtfolge vertreten sein sollte. Für Mais gab es keine entsprechende Restriktion, denn Mais ist ja selbstverträglich. In den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts setzte sich der Maisanbau auch in Deutschland durch. Auf einem Weihenstephaner Versuchsbetrieb kam Mais teilweise auf 100 % der Ackerfläche zum Anbau, er war ja leistungsfähiger als andere Kulturen. Eines Tages im Frühsommer gab es extrem hohe Niederschläge mit der Konsequenz, dass vom Maisfeld große Mengen an Bodenmaterial ausgetragen und auf die Wege gespült wurden. Dieses Ereignis brachte uns massive Kritik ein. Nun waren zwei Reaktionsmöglichkeiten denkbar. Wir hätten sagen können, das sei ein Jahrhundertereignis, dagegen kann man nichts tun oder wir hätten eingestehen müssen, dass der hohe Maisanteil und die Art und Weise des Anbaues diese Erosionsschäden mit verursachten. Wir haben die zweite Variante gewählt. Für die Praxis aber auch für unser Rechenmodell hieß das, wir können den Maisanbau in der bisherigen Form und in dem Umfang nicht beibehalten, wir müssen Restriktionen einbauen. Doktoranden machten sich damals auf den Weg in die USA, um dort zu lernen, wie man Bodenerosion besser in den Griff bekommt. In den USA gab es einen „Soil Conservation Service“ (heute: „Natural Resources Conservation Service“), ausgelöst durch den sogenannten „Dust Bowl“, der in den 1930er Jahren das Ergebnis einer nicht an den Standort angepassten Landwirtschaft war. Seinerzeit führte die Winderosion auf dem durch Umbruch des Steppengraslandes entstandenen aber nun nicht mehr nutzbaren Ackerlandes dazu, dass allein in Oklahoma 15 % der Bevölkerung auswandern mussten. Viele Landwirte, die das Land vor kurzem erst besiedelten, und Arbeiter stürzten in große Armut, da durch die gleichzeitige Weltwirtschaftskrise kaum Arbeitsplätze vorhanden waren. Im Roman „Früchte des Zorns“, erzählt John Steinbeck (1902 – 1968) im Jahr 1939 von der tragischen Situation der Migranten. Er begleitete diese Leute auf ihrer Flucht gen Westen entlang der berühmten Route 66 und beschrieb im besagten Buch die Verschuldungskrise der Siedler, eine Situation, die sich vor einigen Jahren in den USA mit der Immobilienkrise wiederholte. Nebenbei bemerkt, diese Flucht lässt sich durchaus mit den heute zu beobachtenden Flüchtlingsbewegungen vergleichen. Letztlich ist es zweitrangig, aus welchem Grunde die Leute das Land verlassen, seien es kriegerische Ereignisse oder klimabedingte Ursachen. Damals als auch heute ergeben sich daraus Konflikte im Ein-

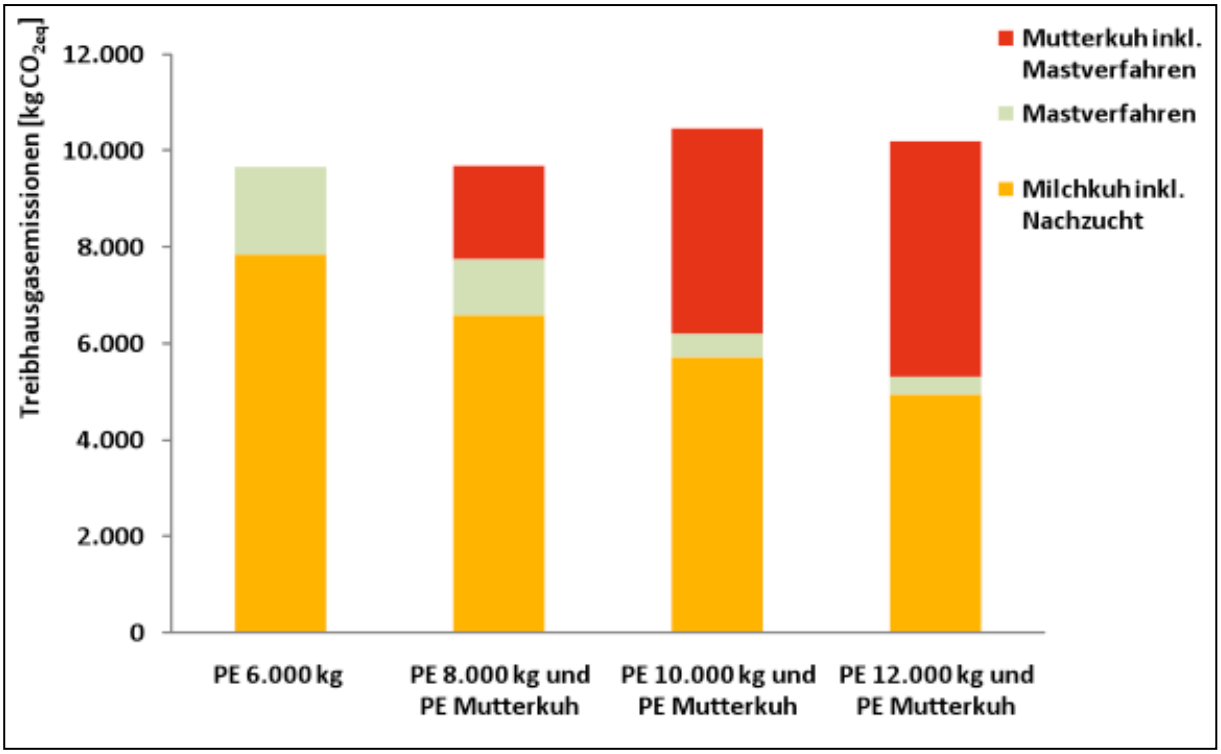
wanderungsland. Nicht minder wichtig waren aber die durch Winderosion ausgelösten Zerstörungen und Umweltbelastungen. Insofern waren unsere Erfahrungen mit der Wassererosion nicht gänzlich neu. In unserem Betriebsmodell gab es nun auch beim Maisanbau eine Restriktion, um den Bodenabtrag auf ein vertretbares Maß zu begrenzen. Nebenbei bemerkt, die Sorge um den Boden ist nach wie vor berechtigt. Es kommt sicher nicht von ungefähr, daß die Vereinten Nationen 2015 zum „Internationalen Jahr des Bodens“ ausgerufen haben. Sehr treffend wird die Sorge um den Boden auch im Titel des Buches „Dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert“ zum Ausdruck gebracht (D. Montgomery, 2010). Auf dem Buchdeckel findet sich bezeichnenderweise ein Foto vom Dust Bowl.
Neben dem Bodenschutz spielt auch der Wasserschutz eine wichtige Rolle. Von politischer Seite wurde der Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser von 90 auf 50 mg/l reduziert. Damit konnte die Stickstoffdüngung nicht mehr allein nach dem ökonomischen Optimum ausgerichtet werden, der Stickstoffüberschuss durfte ein bestimmtes Maß nicht überschreiten. Im Betriebsmodell als auch in der Praxis galt es eine weitere Restriktion zu berücksichtigen, nämlich den noch tolerierbaren Stickstoffüberschuss, der letztlich in der Düngeverordnung geregelt wurde.
An der Stelle ein kurzer Blick auf die Vorgehensweise in zwei Bundesländern. Baden Württemberg hat rund 30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche als Wasserschutzgebiet ausgewiesen. Die Betriebe im Schutzgebiet bekommen, sofern sie bestimmte Grenzwerte für den N_{min}-Gehalt im Boden einhalten, eine Ausgleichszahlung. Die finanziellen Mittel werden über einen sogenannten Wassercent (5 ct./1000 l Wasser) erhoben. Diese Vorgehensweise basiert auf dem Vorschlag von Arthur Cecil Pigou (1877 – 1959), der die Besteuerung von Ressourcen vorgeschlagen hat. Damit würde dann sparsamer mit diesen Ressourcen umgegangen werden. Umgangssprachlich ist von „Ökosteuer“ die Rede.
Eine andere Vorgehensweise hat Ronald Coase (1910 – 2013) vorgeschlagen. Coase bekam 1991 den Nobelpreis für „seine Entdeckung und Klärung der Bedeutung der sogenannten Transaktionskosten und der Verfügungsrechte für die institutionelle Struktur und das Funktionieren der Wirtschaft“ und ist 2013 im Alter von 102 Jahren verstorben. Sein Vorschlag zielt vereinfacht gesagt darauf ab, dass die beiden Akteure (Landwirte und Wasserversorger) darüber verhandeln, wie viel Geld der eine zahlt bzw. der andere bekommt. Bayern, das übrigens nur etwa 3 % der Agrarfläche als Wasserschutzgebiet ausgewiesen hat, wählte diese Vorgehensweise. Als Ergebnis gibt es ganz unterschiedliche Ausgleichszahlungen, je nach den örtlichen Verhältnissen. Diese Vorgehensweise hat aber auch einen Nachteil. Die notwendigen Verhandlungen kosten Zeit und

schließlich auch Geld. In diesem Zusammenhang spricht man von den sogenannten Transaktionskosten. In der Tat, die Verhandlungen zwischen dem Wasserversorger und den Landwirten gestalteten sich teilweise extrem aufwendig. Für die Stadt Augsburg waren wir vor 25 Jahren an der Ausarbeitung eines entsprechenden Konzeptes beteiligt. Voriges Jahr wurden diese Überlegungen auch auf Wasserschutzgebiete in Frankreich übertragen (vgl. Wezel, A., Zipfer, M., Aubry, C., Barataud, F., Heißenhuber, A., 2014: Result-oriented approaches to the management of drinking water catchments in agricultural landscapes. Journal of Environmental Planning and Management).
In den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts erreichte das Thema Klimaschutz auch die Landwirtschaft. Dabei kam u.a. die klimabelastende Wirkung der Wiederkäuerhaltung in die Diskussion. Zu der Zeit wurde auch der Einsatz der Gentechnik praxisreif und dazu angewandt, z.B. um Hormone zu produzieren, so das humanidentische Insulin für Diabetiker. Ansonsten muß Insulin aus der Pankreas des Schweins gewonnen werden. Nach dem gleichen Muster konnten nun auch andere Hormone produziert werden, z.B. auch ein Hormon des Rindes, das bovine Somatropin (bST), welches für die Milchleistung maßgeblich ist. Es lag nahe, die Errungenschaften der „roten“ Gentechnik in Form von Hormonen zur Leistungssteigerung in der Tierhaltung einzusetzen. Die Versuche ergaben, dass sich mit dem bST die Milchleistung um etwa 10 % steigern ließ. Bei einem konstanten Milchkonsum bedeutet das vereinfacht, dass etwa 10 % der Milchkühe weniger ausreichen würden, was zu einer entsprechenden Verringerung der Methanemission führen würde. Diese Zusammenhänge erschienen dem Pharmaunternehmen, das dieses Hormon produzierte, so interessant, dass wir zusammen mit einem Klimaforscher einen Forschungsauftrag bekamen, um die ökonomischen und ökologischen Konsequenzen zu untersuchen. Zu Beginn des Forschungsvorhabens sind wir zum Max-Planck-Institut nach Mainz gefahren. Mit dem zusammen sollten wir das Projekt bearbeiten. Der dortige Direktor war von den Möglichkeiten ebenfalls sehr angetan, es handelte sich dabei um Paul Crutzen der für seine Arbeiten zur Atmosphärenchemie 1995 den Nobelpreis für Chemie bekommen hat.
In diesem Zusammenhang sind noch folgende Überlegungen anzustellen: Häufig wird seitens der Politik auf wissensbasierte Entscheidungen verwiesen. Im vorliegenden Fall wird ein Produktionsmittel zur Verfügung gestellt, das weder für die Tiere noch für die Menschen negative Wirkungen hat, so die Annahme. Insofern gibt es naturwissenschaftlich keine Argumente, dieses Produktionsmittel nicht zuzulassen. Soll den Milchkühen also regelmäßig (alle vier Wochen) ein Hormon verabreicht werden? In der europäischen Bevölkerung regte sich deutlicher Widerstand, obwohl nicht nachgewiesen werden konnte, dass sich aus der Hormonbehandlung der Nutztiere gesundheitliche Schäden für den

Menschen ergeben können. Demzufolge war es letztlich eine politische Frage und die Politik entschied sich in der EU gegen den Einsatz dieses Hormons. Da wissenschaftlich keine Gesundheitsgefahren festgestellt werden konnten, wurde die EU gar zur Zahlung von Strafzöllen gegenüber den USA verurteilt. In den USA wurde der Hormoneinsatz zugelassen.
Nun gilt es noch einen weiteren Aspekt zu berücksichtigen. Bei einer Leistungssteigerung wird davon ausgegangen, dass sich die Menge an anfallendem Methan pro kg Milch reduziert, da sich die emittierte Methanmenge auf mehr Kilogramm Milch verteilt. Trifft das wirklich zu? So bedingt eine höhere Milchleistung über eine reduzierte Anzahl an Milchkühen auch eine niedrigere Zahl an Kälbern, die bei gleich bleibendem Fleischbedarf eine Kompensation, z.B. durch Ausweitung der Mutterkuhhaltung, erfordert. Dieser so genannte Leakage-Effekt wird häufig übersehen, er bedeutet nichts anderes, als dass die Nebenwirkungen einer bestimmen Handlung zeitlich oder räumlich verschoben werden. Diese Zusammenhänge wurden am eigenen Lehrstuhl in einem ausführlichen Forschungsvorhaben untersucht. In Abb. 2 sind Auswirkungen einer Milchleistungssteigerung auf die Treibhausgas-Emission dargestellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass in allen Szenarien die gleiche Menge an Milch und Rindfleisch erzeugt wird. Als Ergebnis zeigt sich, dass der aus der Milcherzeugung allein resultierende CO_2-Footprint mit steigender Milchleistung kleiner wird. Damit die gleiche Fleischmenge erzeugt wird, ist aber z.B. eine Ausweitung der Mutterkuhhaltung erforderlich, dadurch erfolgt eine Kompensation des genannten Effektes - der korrigierte CO_2-Footprint verringert sich nicht.
Die Steigerung der Milchleistung hat aber noch weitere Auswirkungen, so z.B. aus einzelbetrieblicher Sicht die Verringerung des Arbeitszeitaufwandes oder der Gebäudekosten bezogen auf die erzeugte Milchmenge. Deswegen ist es aus einzelbetrieblicher Sicht verständlich, dass eine höhere Leistung angestrebt wird. Auf der anderen Seite ist mit höherer Leistung auch mehr Kraftfutter erforderlich. In Zukunft wird die Frage, unter welchen Umständen und mit welchen Nebenwirkungen dieses Kraftfutter erzeugt wird, an Bedeutung gewinnen. Generell stellt sich zunehmend die Frage, inwieweit bei Rohstoffgewinnung und Produktion soziale und ökologische Mindeststandards eingehalten werden.
In diesem Zusammenhang sei nochmal auf eine Untersuchung von Daten aus Praxisbetrieben hingewiesen. Wie bereits in Abb. 1 dargestellt, zeigen die Auswertungen von Betriebsdaten nicht den modellmäßig erwarteten degressiven Verlauf des CO_2-Footprint je kg Milch in Abhängigkeit von der Milchleistung. Offensichtlich ist für die gesamten Treibhausgas-Emissionen der Tierhaltung einschließlich Futtergewinnung, Düngerwirtschaft etc. eine Vielzahl von Einflussfaktoren (z.B. auch die Nährstoffbilanz) maßgeblich, die den Effekt der steigenden Milchleistung teilweise kompensieren. Dabei sind bei diesen Be-

rechnungen die in Abb. 2 dargestellten Effekte einer konstanten Rindfleischproduktion noch nicht berücksichtigt. Auf jeden Fall erscheint es angebracht, die in theoretischen Modellen gewonnenen Ergebnisse mit Zahlen aus der Praxis abzugleichen, also Theorie mit Empirie zu verbinden.

Abb. 2: Treibhausgas-Emissionen bei konstanter Milch- und Rindfleischproduktion

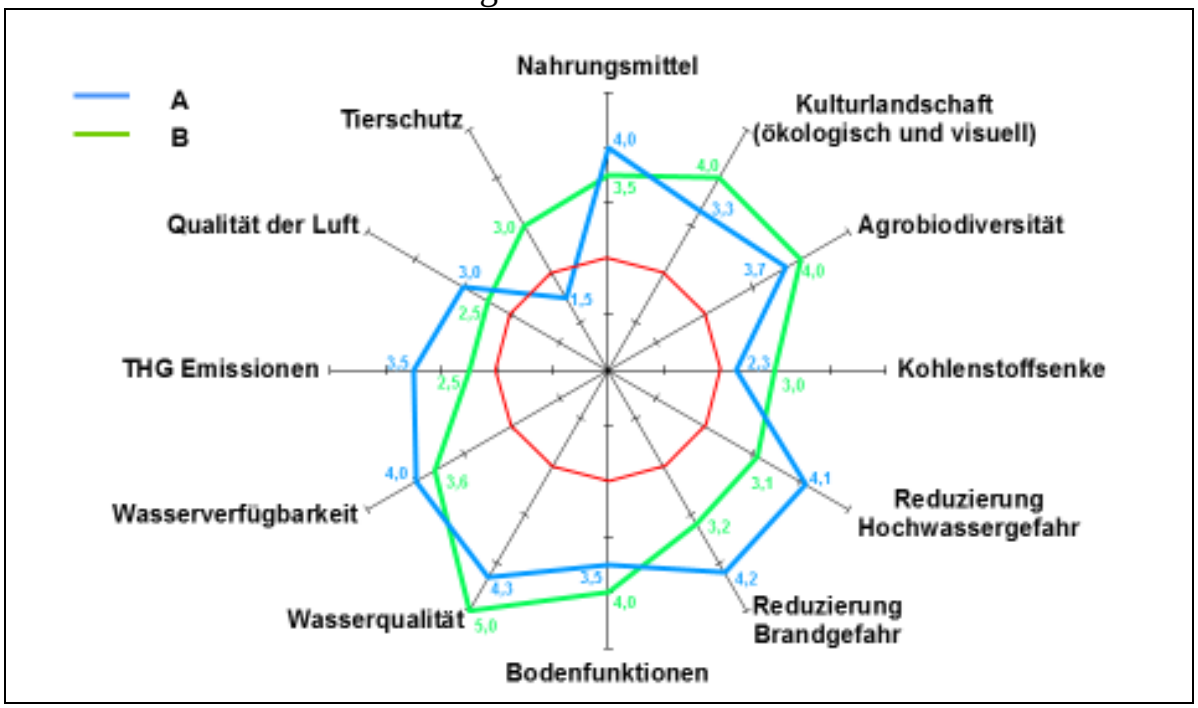


Quelle: Zehetmeier, M., Baudracco, J., Hoffmann, H. und Heißenhuber, A., 2012: Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gasemissions? A system approach. Animal, 6 (1), pp 154-166.
PE: Produktionseinheit mit jeweils unterschiedlicher Milchleistung aber konstanter Milch- und Fleischmenge

Wir können feststellen, dass in unserem Betriebsmodell zunehmend komplexere Zusammenhänge beachtet werden müssen, dass also eine systemische Betrachtungsweise erforderlich ist, um eine umfassende Beurteilung vornehmen zu können (vgl. Abb. 3). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Verbesserungen in einem Bereich durchaus zu Verschlechterungen in einem anderen Bereich führen können, wir haben es also mit sog. Trade-offs zu tun. In einigen der aufgeführten Bereiche existieren gesetzliche Mindeststandards, diese müssen eingehalten werden (siehe rote Linie in Abb. 3). Auf der anderen Seite ist es denkbar, dass Betriebe, die in einem Bereich eine besonders positive Ausprägung erreichen,

über entsprechende Programme – eventuell auch nur vorübergehend - honoriert werden. Besonders positive Merkmale könnten auch Gegenstand eines Labels sein, um damit dem Konsumenten Signale für den Kauf zu geben.

Abb. 3: Umfassende Beurteilung von Produktionsverfahren



Quelle: vgl. Cooper, T.; Hart, K., Baldock, D. et al.: Provision of Public Goods through Agriculture in the European Union; Third deliverable report. Institute for European Environmental Policy (IEEP), London 2009

Die angesprochenen Zusammenhänge bezüglich einer umfassenden Beurteilung von Produktionsverfahren haben wir vor einigen Jahren in einem umfangreichen Projekt zusammen mit dem IEEP untersucht (vgl. Abb. 3).

Herausforderungen für die Agrarwissenschaften

Nach den Ausführungen zur Agrarökonomie im Wandel der Zeit wollen wir uns nun mit aktuellen Herausforderungen der Agrarwissenschaften beschäftigen. Vor einigen Jahren begann eine intensive Diskussion über das Fach Agrarwissenschaft. Diese Diskussion wurde nicht zuletzt auch dadurch ausgelöst, da Wissenschaftler sich häufig nur dann entsprechend profilieren können, wenn sie in einem Spezialgebiet publizieren. Da die Agrarwissenschaften keine Spezialdisziplin darstellen, wurde die Frage gestellt, inwieweit es sich bei den Agrarwissenschaften überhaupt um eine eigenständige Wissenschaftsdisziplin handelt oder ob die Agrarwissenschaften nicht eigentlich eine Summe von Spezialdis-

ziplinen darstellt. In diesem Zusammenhang erscheint es angebracht, unterschiedliche Wissenschaftsmodelle zu betrachten. Diesbezüglich lassen sich folgende drei Modelle (nach Nowotny, H. et al. 2004; Berg, E. 2014) unterscheiden:

(1) „iron triangle“ - Wissenschaft

(2) „mode 1“ - Wissenschaft

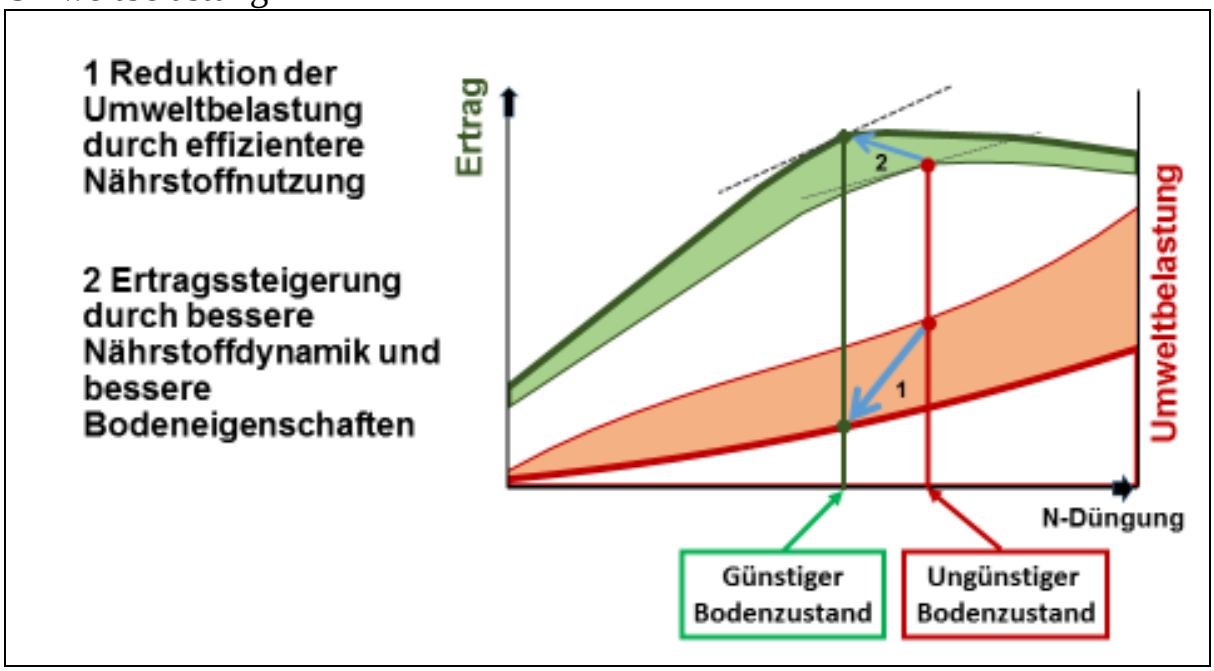
(3) „mode 2“ - Wissenschaft.

Die „iron triangle“ - Wissenschaft steht für eine enge Verbindung zwischen den Agrarwissenschaften, der Agrarpolitik und der Agrarbranche. Diese Wissenschaft kommt nicht zuletzt auch deshalb in einen Konflikt, da vermehrt gesellschaftliche Anforderungen an die Lebensmittelerzeugung und damit an die Landwirtschaft herangetragen wurden. Daneben kommt zunehmend Kritik von wissenschaftlicher Seite, da zu wenige Publikationen in den hochrangigen Zeitschriften erfolgen.
Aus den genannten Gründen kam die Forderung auf, anstelle der „iron triangle“ - Wissenschaft eine „mode 1“ - Wissenschaft zu etablieren. Diese Form der Wissenschaft ist disziplinär und erklärungsorientiert ausgerichtet. Die Disziplin Agrarwissenschaft ergibt sich demnach aus der Summe von Spezialgebieten. Ein eigenständiges Fach Agrarwissenschaft würde in diesem Falle nicht mehr existieren. Wo liegt das Problem? Wie bereits aufgezeigt, treten im Agrarbereich viele Interaktionen auf, die mit einer systemaren Betrachtung zu erfassen sind. Salopp gesagt, das Ganze ist mehr als die Summe der Teile. Eine ähnliche Situation gibt es auch in anderen Fächern. Bei den Bauingenieuren sind auf der einen Seite Spezialisten erforderlich, auf der anderen Seite müssen Experten die Zusammenschau vornehmen, müssen also Baufachleute sein. Aus den genannten Gründen könnte das Fach Agrarwissenschaft als „mode 2“ - Wissenschaft etabliert werden. Diese ist hauptsächlich lösungsorientiert sowie inter- und transdisziplinär ausgerichtet. Man könnte auch sagen, diese Art der Wissenschaft ist eine „sustainabilty science“ (vgl. Kates, R. et al. 2001).
An der Stelle möchte ich einige eigene Erfahrungen mit einem interdisziplinären Forschungsansatz einbringen, die ich über den Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) sammeln konnte. Für dieses Projekt wurde seinerzeit das Klostergut Scheyern als Versuchsbetrieb gepachtet. In diesem Verbundprojekt von GSF (heute Helmholtz Zentrum München) und Forschern des Wissenschaftszentrums Weihenstephan sollten interdisziplinäre Forschungsteams aus verschiedenen Bereichen die agrarökologischen Folgen der Landbewirtschaftung untersuchen. Drei Begriffe standen hier im Mittelpunkt, nämlich Systembetrachtung, Langzeitversuch und Interdisziplinarität. Ein auf 15 Jahre ausgerichtetes Vorhaben mit insgesamt 40 Instituten war wirklich au-

ßergewöhnlich. Es stellte sich aber sehr rasch heraus, dass Interdisziplinarität nicht so einfach umzusetzen ist. Sehr schnell orientierten sich die Beteiligten wieder in Richtung der eigenen Disziplin. Zum Schluß wurden dann meist disziplinär ausgerichtete Forschungsberichte erstellt.
Damit der Anspruch eines interdisziplinär ausgerichteten Forschungsvorhabens gewahrt bleibt, musste ein entsprechender Abschlussbericht, das sogenannte FAM-Buch, erstellt werden. Zu diesem Zweck bekamen zwei Wissenschaftler am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues den Auftrag, im Laufe eines Jahres aus den Einzelprojekten ein sogenanntes FAM-Buch zu schreiben. Es wurde also versucht, dem Gedanken der Interdisziplinarität gerecht zu werden. So war das eigentlich nicht gedacht. Als Lehre für zukünftige Vorhaben bleibt folgende Erkenntnis: Für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit ist eine starke Koordinationsstelle notwendig. Zudem ist es nicht möglich, dass alle Gruppen untereinander in Kontakt stehen. Eine Alternative besteht darin, dass die fachlich jeweils benachbarten Gruppen zusammenarbeiten, dass also die Ergebnisse der einen Ebene an die nächste Ebene weitergegeben werden. Auf diesem Wege ergibt sich letztlich eine Verknüpfung aller Ebenen.
Ein neueres Beispiel für einen umfassenden Ansatz stellt das Konzept der „Nachhaltigen Intensivierung“ dar. Inhaltlich erfolgt eine Erweiterung des bisherigen Nachhaltigkeitsansatzes um den Bereich des Nachfragemanagements (vgl. Garnett, T. and Godfray, C., 2012). In der Tat müssen auch die Fragen des Verlustes bzw. der Verschwendung an Lebensmitteln sowie eines nachhaltigen Konsums berücksichtigt werden. Bezüglich der Produktion versteht man unter nachhaltiger Intensivierung „Eine Form der landwirtschaftlichen Produktion, mit der Ertragssteigerungen erreicht werden können ohne negative Effekte für die Umwelt zu verursachen und ohne zusätzliche Fläche in Kultur zu nehmen” (vgl. The Royal Society, London, 2009). Ein Ziel könnte also sein, „mehr mit weniger“ zu erzeugen, d.h. mehr Ertrag mit weniger Aufwand bei einer zugleich geringeren Umweltbelastung. Ist so ein Ziel realistisch? An einem Beispiel sollen diese Zusammenhänge erläutert werden (vgl. Abb. 4). In dieser Abbildung ist die Beziehung zwischen Input und Output dargestellt. Zudem wurde die Umweltbelastung mit einem Korridor eingetragen. In der Ausgangssituation (ungünstiger Bodenzustand) ergibt sich ein bestimmter Ertrag. Zugleich wird eine relativ hohe Umweltbelastung angenommen. Die Umweltbelastung ergibt sich durch den Überschuss an Stickstoff, der als Nitrat ins Grundwasser oder als Lachgas in die Atmosphäre gelangen kann. Der relativ hohe Stickstoffüberschuss könnte z.B. durch ein Überangebot an Gülle verursacht werden. Es ist möglich, dass eine zu hohe Stickstoffdüngung sogar zu Ertragseinbußen führt, es ist aber auch möglich, dass eine relativ hohe Stickstoffdüngung sogar erforderlich ist, weil aufgrund einer ungünstigen Bodenstruktur - z.B. durch Schad-

verdichtungen verursacht - die Nährstoffdynamik im Boden sehr gering ist, d.h. es geht Stickstoff in Form von Lachgas verloren. Wenn es gelingt, die Schadverdichtungen zu beseitigen und die Nährstoffdynamik zu verbessern, dann reicht eine geringere Nährstoffmenge, um einen höheren Ertrag zu erreichen. Diese neue Situation (günstiger Bodenzustand) hat als Nebeneffekt eine deutlich geringere Umweltbelastung (vgl. Abb. 4). Am Beispiel der Lachgasemission soll der Unterschied zwischen der Situation „ungünstiger Bodenzustand“ und der Situation „günstiger Bodenzustand“ in Abb. 4 kurz erläutert werden. Wie Messungen gezeigt haben, kann es unter ungünstigen Bedingungen zu einer Lachgasemission von deutlich über 10 kg/ha und Jahr kommen. Unter günstigen Umständen ist dagegen z.B. ein Wert von 3 kg N_2O pro ha und Jahr erreichbar. Ein Unterschied von z.B. 10 kg N_2O pro ha und Jahr entspricht in etwa einer CO_2-Menge von 3.000 kg. Auf diese Menge belaufen sich beispielsweise in Deutschland rechnerisch die jährlichen CO_2-Emissionen von 30 Personen. An der Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Klimabelastung durch Lachgas aus landwirtschaftlichen Quellen noch nicht so sehr in den Fokus gerückt ist, dabei sind die Themen Schadverdichtung und Stickstoffüberschuss gerade in Betrieben mit einem hohen Viehbesatz eine häufig gegebene Realität. Ein Beleg dafür sind die hohen Nitratgehalte im Grundwasser in den entsprechenden Regionen.

Abb. 4: Zusammenhang zwischen Bodenzustand, Düngeraufwand, Ertrag und Umweltbelastung



Quelle: nach Buckwell, A., Heißenhuber, A., Blum, W. et al. (2014): The Sustainable Intensification of European Agriculture. A review sponsored by RISE Foundation. Bruxelles, 2014: 1-98.

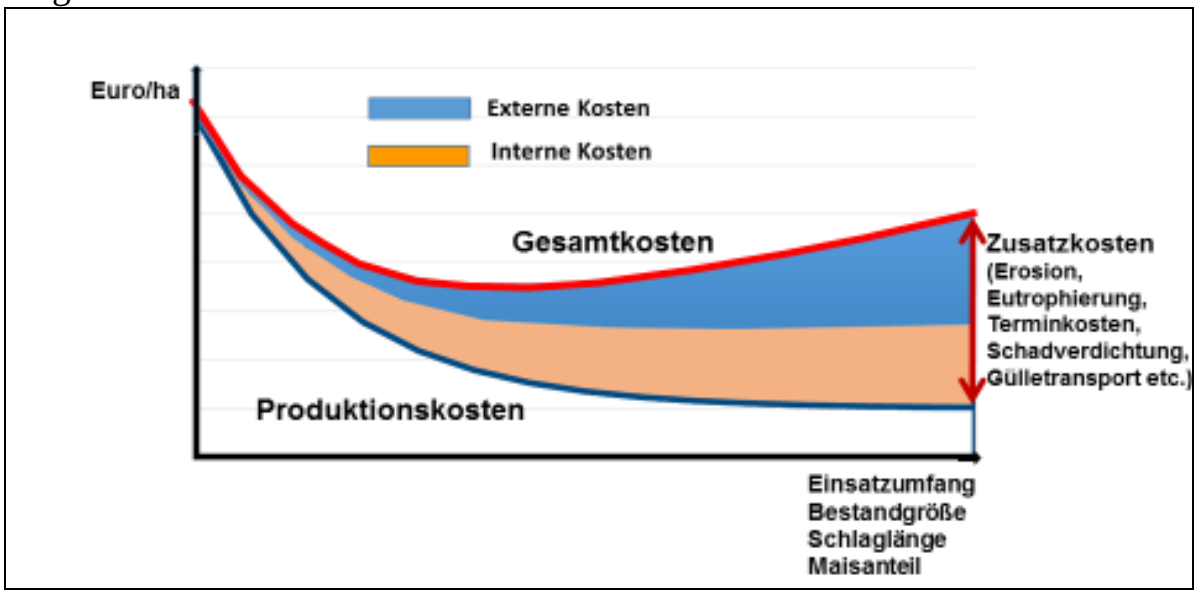
Aus den dargestellten Zusammenhängen läßt sich folgern, dass eine zukunftsorientierte Agrarforschung ein sozial robustes, von gesellschaftlicher Seite akzeptiertes Wissen produzieren sollte (vgl. Nowotny, H. et al. 2004). Es geht um die Lösung von Problemen der Lebenswelt unter Einbeziehung des Wissens von Akteur(inn)en und Betroffenen (Transdisziplinarität) (vgl. Hirsch Hadorn, G. et al. 2008). Für eine zukunftsorientierte Agrarwissenschaft ist es unbedingt erforderlich, den Bezug zu den Zielgruppen herzustellen, wobei als Zielgruppe nicht allein die Agrarbranche fungieren kann, sondern auch andere gesellschaftliche Gruppierungen. Auf jeden Fall muss der Kritik an der Forschung im Allgemeinen und den Agrarwissenschaften im Besonderen begegnet werden. Forschung darf nicht nur extrem kleinteilig bzw. spezialisiert erfolgen, damit die Zusammenhänge nicht verloren gehen. Zudem müssen auch Themen aufgegriffen werden, die keinen unmittelbaren Nutzen bringen und für die deshalb wenig Drittmittel aus der Wirtschaft einzuwerben sind. Genannt seien als Beispiele der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und der Agrobiodiversität oder das Thema Tierwohl.

Kritik an Ökonomie und Agrarökonomie

In den letzten Jahren sind die Wirtschaftswissenschaften insgesamt sehr stark in die Kritik geraten. Nicht zuletzt die aufgetretenen Krisen, welche vorab nicht erkannt wurden und auch nicht erklärt werden konnten, führten zu der Frage, inwieweit die heute überwiegend verwendeten Modelle geeignet sind, die Realität zu erklären. Es wird sogar eine in den Modellen unterstellte Grundannahme in Frage gestellt, nämlich in wieweit der „homo oeconomicus“ zutreffend ist. Diese Zweifel sind bei den Ökonomen angekommen. So stellte Dennis Snower (Kiel, 2014) die Frage: Liefern Ökonomen noch relevante Erkenntnisse für Bürger und Politiker? Zudem traf er die Aussage: Mit dem Leitbild des Homo oeconomicus alleine werden wir als Ökonomen nicht Wege zu nachhaltigem Wohlergehen aufzeigen können. Schließlich forderte er, gemeinsam mit anderen Disziplinen zu forschen und sich mit den Grundlagen menschlichen Verhaltens zu befassen. Letztlich kam er damit einer Kritik von Studierenden der Wirtschaftswissenschaften entgegen, die schon vor mehreren Jahren kritisierten, dass die in den Vorlesungen und in den Lehrbüchern verwendeten Modelle die Realität nicht erklären können. Daraus leitete sich die Forderung nach einer „post-autistischen“ Ökonomie ab. Da der Begriff post-autistisch politisch als nicht ganz korrekt eingestuft wird, stehen alternativ dafür die Begriffe Plurale Ökonomik oder auch Real World Economics. Diese Kritik betrifft nicht nur die Wirtschaftswissenschaften sondern auch die Agrarökonomie. Auf der GEWISOLA 2013 haben sich einige Kolleginnen und Kolleginnen (Birner, R., Bitsch, V., Heißenhuber, A., Lippert, C., Spiller, A., Schulze Pals, L., Gandor-

fer, M., Zühlsdorf, A.) in einer Arbeitsgruppe mit der provokanten Frage „Brauchen wir eine post-autistische Agrarökonomie?“ auseinander gesetzt. Sicher gibt es genügend Wissenschaftler, welche eine derartige Kritik zurückweisen und die vorher gestellte Frage eindeutig verneinen. Es mag auch sein, dass etliche Wissenschaftler in ihren Arbeiten schon seit langem die scheinbar fehlenden Aspekte berücksichtigen. Wie dem auch sei, in genügend Lehrbüchern finden sich noch die so eingängigen Zusammenhänge dargestellt, ohne auf die Randbedingungen oder Limitationen zu verweisen. Dies sei an folgendem Beispiel verdeutlicht: Eine zentrale betriebswirtschaftliche Aussage basiert auf den sogenannten Skaleneffekten, demzufolge mit steigendem Produktions- bzw. Einsatzumfang die Kosten sinken, da die Festkosten auf mehr Einheiten verteilt werden. Die Nutzung der Skaleneffekte gehört zu den gängigen Empfehlungen an die Unternehmen. Es gibt aber in der Praxis genügend Beispiele, dass mit Ausweitung des Produktions- bzw. Einsatzumfanges Zusatzkosten entstehen, die auf den ersten Blick nicht erkennbar sind. Als Beispiel seien die Terminkosten genannt. Darunter versteht man Kosten der nicht termingerechten Arbeitserledigung. Je größer der Einsatzumfang einer Maschine, desto mehr müssen Termine wahrgenommen werden, die zu kostenträchtigen Nebeneffekten führen. Das können zunehmende Ernteverluste oder steigende Kosten der Getreidetrocknung sein. Dies können auch Schadverdichtungen beim Boden sein, die sich erst im Laufe der folgenden Jahre kostenmäßig negativ bemerkbar machen. Die genannten betriebsinternen Kosten tragen dazu bei, die Skaleneffekte zumindest teilweise zu kompensieren (vgl. Abb. 5). Einen weiteren Aspekt stellen die externen Kosten dar, die in betriebswirtschaftlichen Betrachtungen unberücksichtigt bleiben. Es steht die Forderung im Raum, die externen Kosten zu internalisieren, das könnte z.B. durch Änderung der Rahmenbedingungen geschehen oder aber auch aus unternehmerischer Verantwortung, um zukünftige Entwicklungen vorweg zu nehmen. Wie dem auch sei, es erscheint angebracht, in betriebswirtschaftlichen Betrachtungen auch die unterschiedlichen Nebeneffekte zu berücksichtigen. Dazu ist eine umfassende, der Realität nähere Betrachtung erforderlich.

Abb. 5: Produktionskosten und Zusatzkosten in Abhängigkeit vom Einsatzumfang



Quelle: nach Schießl, P., Krämer, C. und Heißenhuber, A. (2015): Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdüngern, UBA Texte 80/2015. Dessau-Roßlau.

Fazit

Zum Ende meiner Ausführungen anlässlich der Verleihung der Johann-Heinrich-von-Thünen-Medaille in Gold möchte ich die Frage aufwerfen, was wir heute noch von Johann Heinrich von Thünen lernen können. Selbstverständlich bietet das Gesamtwerk von Thünen´s genügend Erkenntnisse, die zeitlos von Bedeutung sind. Im Zusammenhang mit meinen bisherigen Ausführungen und aus meiner persönlichen Sicht erscheinen mir folgende drei Forderungen von Bedeutung:

- Theorie mit Empirie verbinden,
- Landwirtschaft als Ganzes betrachten und
- Soziale Belange aufgreifen.

Die Verbindung von Theorie und Empirie erscheint heute außerordentlich wichtig, damit die Ergebnisse der Modellrechnungen auf ihre Gültigkeit hin überprüft werden. Es ist notwendig, die in der Realität gegebenen Zusammenhänge zu berücksichtigen und die Modelle entsprechend anzupassen, damit verlässliche Aussagen getroffen werden können.

Die Betrachtung der Landwirtschaft als Ganzes, auf dass neben den ökonomischen Belangen auch die ökologischen und sozialen Aspekte einbezogen werden und darüber hinaus auch die Interaktionen erfasst und die Trade-offs aufge-

zeigt werden, ist unumgänglich. Die unternehmerische oder politische Entscheidung basiert dann auf der Wertung der einzelnen Indikatoren.
Schließlich ist die stärkere Berücksichtigung sozialer Belange aktueller denn je. Die vermehrte Beschäftigung von Lohnarbeitskräften führt zu der Frage nach einer angemessenen Entlohnung, im Inland als auch im Ausland. Eine Wirtschaftsweise ist nur dann als nachhaltig einzustufen, wenn sie nicht auf Kosten eines Teils der Beschäftigten stattfindet.
Mit diesen drei Forderungen kann uns Johann Heinrich von Thünen auch heute noch ganz aktuelle Impulse geben.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Das Literaturverzeichnis kann beim Verfasser angefordert werden.

(Collegium musicum der CAU)

Johann Heinrich von Thünen
(24. Juni 1783 bis 22. September 1850)

Johann Heinrich von Thünen wurde am 24. Juni 1783 in Kanarienhausen bei Hooksiel im Jeverland geboren. Er besuchte in Holstein die landwirtschaftliche Lehranstalt von Lucas Andreas Staudinger und zeigte dort schon im Jahre 1803 an einer Hausarbeit grundlegende Ideen auf, die er später als praktischer Landwirt auf dem Gut Tellow in Mecklenburg (von 1810 bis 1850) zu einem bahnbrechenden Werk der Nationalökonomie ausbaute.
Sein Lehrer und Freund Staudinger begleitete seine Arbeiten und sorgte dafür, dass Thünens Werk „Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie“ als Teil 1 im Jahre 1826 in Hamburg veröffentlicht wurde. Vier Jahre später wurde er Ehrendoktor der Universität Rostock.
In seinem Werk zeigt Thünen die optimale Versorgung der Bevölkerung mit Wirtschaftsgütern auf und damit zugleich den zweckmäßigen Standort und die optimale Produktionsintensität der einzelnen Wirtschaftszweige. Die Anordnung der Produktionsrichtungen erfolgt bei seinen Annahmen um den Absatzort herum in den sogenannten „Thünen-Kreisen“. Sie ordnen sich nach den Transportkosten je Flächen- und Wegeinheit um den Markt. Thünens Methode ist vor allem die der isolierten Abstraktion.
Der 2. Teil des „isolierten Staates“ erschien 1850. Besonders hervorzuheben sind hieraus die in seiner Lohnformel enthaltenen Aussagen über die naturgemäße Entlohnung der Arbeiter. Diese Ausführungen zeigen insbesondere auch Thünens soziale Einstellung.
Thünen begründete mit seinen Arbeiten wichtige Forschungseinrichtungen der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, so die Betriebslehre und die Ökonometrie, die landwirtschaftliche, die städtische und die forstwirtschaftliche Standortlehre, die Marginalanalyse, die Grenzproduktivitätstheorie, die ökonomische Optimierung, die Gesamtmodellrechnung und Theorien zu politischen und sozialen Aussagen über die naturgemäße Entlohnung und über Gewinnbeteiligungen.
Er starb am 22. September 1850 auf seinem Gut Tellow als praktischer Landwirt und wird heute als der bedeutendste deutsche Ökonom seiner Zeit angesehen.

Die Johann-Heinrich-von-Thünen-Medaille wurde bisher verliehen:

1966 Helmut Graf (†), Domäne Marienburg bei Hildesheim,
1967 Flemming Juncker, Overgaard (Dänemark),
1968 Dr Wilhelm vor Schulte (†), Achterwehr über Kiel,
1969 Dr. Adalbert Freiherr von Poschinger-Bray (†), Irlbach über Straubing,
1970 Peter Herzog von Oldenburg, Lensahn (Holstein),
1971 Dr. Werner Reinersmann, Gut Lerchenfeld bei Regensburg,
1972 Friedrich Matthiesen, Herrenkoog (Nordfriesland),
1973 Emil Klaus (†), Bischoffingen (Breisgau),
1974 Sir Nigel Strutt, T.D., D.L., F.R.Ag.S., Chelmsford/Essex,
1975 Dr. Carl-Ernst Büchting, Einbeck,
1976 Dipl.-Ing. Dr. h.c. Anton Schlüter (†), Freising,
1977 Peter Herzog zu Schleswig-Holstein (†), Grünholz,
1978 Landwirtschaftsdirektor Dipl.-Landw. Dietmar Hölzl (†), Fürth,
1979 Landwirt Adolf Luetgebrune, Lage-Müssen/Lippe,
1980 Landwirt Klaus Peters, Röst bei Heide (Holstein),
1981 Landwirt Joachim Klindworth, Bargstedt-Ohrensen (Niedersachsen),
1982 Alfred Strothe (†), Hannover,
1983 Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt a.M.,
1985 Hans-Hermann Meinecke, Westerstede/Hollenriede (Niedersachsen),
1987 Dietrich Brauer (†), Hohenlieth (Schleswig-Holstein),
1989 Hans-Ulrich Hege, Domäne Hohebuch, Waldenburg,
1991 Dipl.-Ing. Romúald Ozimek, Brzozow (Polen),
1993 Karl-Heinz Hüggelmeyer, Erpen/Bad Rothenfelde
1995 Franz Ehrsam, Großheirath
1997 Bernd Kopmann, Hohendorf
1998 Sven Fischer, Örebro/Schweden
2001 Dr. Heinrich Graf von Bassewitz, Dalwitz/Mecklenburg-Vorpommern
2003 Dr. Chantal Mathy, Daussoulx, Belgien
2005 Siegfried Mayer, Möderbrugg, Österreich
2009 Christian Graf Holck, Farve
2012 Dr. Martin Frauen, Hohenlieth
2015 Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber, München-Weihenstephan