

Vorträge
zur Hochschultagung 2018

„Landwirtschaft und Ernährung im Spannungsfeld zwischen
Umwelt, Gesellschaft und Politik“

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

Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Kiel, Heft 125, (2018)

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
Professorin Dr. Dr. Anja Bosy-Westphal Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde Kontroverse um Zucker in Lebensmitteln – wie viel ist noch gesund?	1
Professor Dr. Christian Jung Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Genome-Editing bei Nutzpflanzen – wissenschaftliche und rechtliche Aspekte	6
Professor Dr. Dr. Christian Henning, Michael Grunenberg, M.A. Institut für Agrarökonomie Ökonomische und politische Zahlungsbereitschaften sowie tatsächliche Kosten für Tierwohl	13
Prof. Dr. Sebastian Heß Institut für Agrarökonomie Sind die Milch-Lieferbeziehungen in Deutschland noch zeitgemäß?	23
Johanna Scholz, MSc; Professor Dr. Awudu Abdulai Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre Geschlechterlücke in der Landwirtschaft Tansanias – Sind Männer wirklich effizienter als Frauen	33
Dipl.-Ing. agr. Karsten Borchard Institut für Agrarökonomie Digitalisierung in der Landwirtschaft – mehr als ein Schlagwort?	41
Professor Dr. Eberhard Hartung Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik Status Quo zu emissionsmindernden Maßnahmen in der Nutztierhaltung	49

	Seite
<p>Dr. Doreen Becker, Professorin Dr. Christina Hölzel Institut für Tierzucht und Tierhaltung One Health challenge – Tiergesundheit an der Grenzfläche zwischen Landwirtschaft und Public Health</p>	55
<p>Lisa-Marie Sandberg, MSc; Professor Dr. Georg Thaller Institut für Tierzucht und Tierhaltung Zucht auf neue Merkmale: Möglichkeiten und Grenzen</p>	60
<p>Dr. Irena Czycholl, Professor Dr. Joachim Krieter Institut für Tierzucht und Tierhaltung Gibt es eine praktikable Alternative zum Ferkelschutzkorb in der Sauenhaltung?</p>	68
<p>Professor Dr. Carsten Schulz, Anna Fickler, MSc Institut für Tierzucht und Tierhaltung Bioaktive Substanzen zur Sicherstellung einer hohen Fettqualität in Fischen</p>	79
<p>Professor Dr. Andreas Susenbeth Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie Der Energiebedarf von Milchkühen heutiger Rassen</p>	88
<p>Dr. Dirk Schenke, Professor Dr. Daguang Cai Institut für Phytopathologie Erzeugung resistenter Kulturpflanzen durch gezielte Modifikation des Genoms</p>	94
<p>Anna-Catharina Wollmer, MSc; Professor Dr. Karl Herrmann Mühling Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Auswirkungen temporärer Überstauung auf Ertrag und Nährstoffzusammensetzung von Weizen und Raps</p>	101
<p>Professorin Dr. Antje Herrmann, Professor Dr. Friedhelm Taube Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Bringt der Zuchtfortschritt bei Silomais auch Vorteile für die C- Einträge in den Boden?</p>	107

	Seite
Dr. Ingo Pahlmann, Professor Dr. Henning Kage Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Steigerung der N-Effizienz im Ackerbau: Welche Optionen haben wir in den intensiven Anbausystemen?	113
Priv.-Doz. Dr. Tobias Donath Institut für Natur- und Ressourcenschutz Jakobs-Kreuzkraut – Strategien für ein naturschutzkonformes Management	121
Ulrike Seidel, MSc; Professor Dr. Gerald Rimbach Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde Taurin in Lebensmitteln – vom Molekül zur biologischen Wirkung	129
Jonas Amft, MSc; Professorin Dr. Karin Schwarz Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde Noch immer aktuell: Schutz von ungesättigten Lipiden vor Oxidation in Lebensmitteln	138
Dr. Dierk Martin Max-Rubner-Institut, Kiel Ribonucleoside in Kuh-, Schaf-, Ziegen- und Kamelmilch	147

Kontroverse um Zucker in Lebensmitteln: Wieviel ist noch gesund?

Anja Bosy-Westphal

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

Die WHO empfiehlt den Verzehr „freier Zucker“ auf 10% der Gesamtenergieaufnahme zu beschränken, um das Risiko für Karies, Übergewicht und Typ 2 Diabetes zu reduzieren (1). Unter „freien Zuckern“ werden Mono- und Disaccharide verstanden, die Lebensmitteln entweder vom Hersteller oder vom Konsumenten zugesetzt werden, sowie die Zucker, die von Natur aus in Lebensmitteln enthalten sind. Die Ergebnisse der Nationalen Verzehrsstudie zeigen, dass in Deutschland etwa doppelt so viel Zucker verzehrt wird (19% der Energiezufuhr bei Männern und 24% bei Frauen, 2). Der überwiegende Teil wird dabei „versteckt“ über verarbeitete Lebensmittel aufgenommen und etwa die Hälfte des Zuckerverzehrs besteht aus dem Haushaltszucker Saccharose, der restliche Verzehr besteht überwiegend aus den Stärkeverzuckerungsprodukten Glukose und Fruktose. Der Verzehr gezuckerter Getränke ist vor allem bei jüngeren Erwachsenen hoch (2) und besonders kritisch zu bewerten, da die Kalorienaufnahme aus Getränken zu weniger Sättigung führt (3) und der Zucker aus Limonaden schnell resorbiert wird. Epidemiologischen Studien zufolge erhöht bereits eine Dose Limonade/Tag das Diabetesrisiko um 20% (4, 5). Dieser Effekt ist anteilig unabhängig vom Risiko für Adipositas.

Verbraucherschützer kritisieren die Lebensmittelkennzeichnung, da im Zutatenverzeichnis unter Zucker nur der Haushaltszucker Saccharose aufgeführt wird und es darüber hinaus eine Vielzahl süßender Zutaten gibt, die für den Laien nicht eindeutig als solche zu identifizieren sind (6). Die Angaben in der Nährwerttabelle beziehen sich dagegen auf den Gesamtgehalt an Mono- und Disacchariden. Es erscheint zweifelhaft, dass eine einfachere Kennzeichnung den Zuckerkonsum senken könnte.

Die WHO spricht sich dafür aus, gezuckerte Getränke extra zu besteuern, um den Konsum durch einen einem Preisanstieg von mindestens 20% zu senken (7). Eine derartige Steuer gibt es weltweit in vielen Ländern und nach einer kürzlich veröffentlichten Analyse wären dadurch in Deutschland ca. 1 Mio. Fälle von Übergewicht und eine halbe Millionen Fälle von Adipositas vermeidbar, wobei insbesondere die Gruppe junger Erwachsener im Alter von 20-29 Jahren profitieren würde (8).

Durch die Verzuckerung vor allem von Maisstärke wird Isoglukose gewonnen, die als sog. *High-Fructose Corn Sirup* in der Regel einen Fruktosegehalt von 55% aufweist. Fachgesellschaften und Verbraucherverbände befürchten, dass der Marktanteil dieses billig produzierten Süßungsmittels durch die Liberalisierung des europäischen Zuckermarktes in Zukunft steigen könnte (9, 10, 11) und dass der günstigere Preis von Isoglukose zu einem höheren Zusatz von Zucker in verarbeiteten Lebensmitteln führen könnte. Der im Vergleich zum Haushaltszucker aus Zuckerrüben um 5% höhere Fruktosegehalt von Isoglukose spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Von gesundheitlicher Bedeutung ist es vielmehr, die Gesamtaufnahme schnell verfügbarer Kohlenhydrate und damit auch von Zuckern zu begrenzen.

Hohe postprandiale Glukosespiegel bedeuten ein höheres Risiko für die Entwicklung einer arteriosklerotischen Gefäßschädigung und Herzinfarkte (12, 13). Darüber hinaus führt eine hohe Glykämie zu einer starken Insulinausschüttung und die physiologische Hyperinsulinämie kann zur Entwicklung einer Insulinresistenz führen (14). Bereits eine Woche körperliche Inaktivität mit dem gleichzeitigen Konsum gezuckerter Getränke führt bei jungen gesunden Männern zu einer Verschlechterung der basalen (nüchtern) und postprandialen Insulinsensitivität (15). Diese Verschlechterung war jedoch geringer wenn die Getränke statt mit Saccharose mit Isomaltulose gesüßt waren. Isomaltulose ist zwar genau wie Saccharose ein Disaccharid aus Glukose und Fruktose, im Vergleich zur 1-2-glykosidisch verknüpften Saccharose ist es jedoch 1-6-glykosidisch verknüpft und wird daher enzymatisch nur langsam gespalten und lässt den Blutzuckerspiegel daher nur langsam ansteigen (d.h. Isomaltulose hat einen niedrigen glykämischen Index).

Auf der anderen Seite führt Fruktose im Gegensatz zu Glukose zwar zu einem geringen Anstieg des Blutzuckerspiegels und wird insulin-unabhängig verstoffwechselt, dennoch birgt ein hoher Fruktoseverzehr gesundheitliche Risiken (16). Fruktose wird von der Leber stärker aufgenommen (ca. 70%) als Glukose (15-30%) und führt so zu einer Akkumulation von Harnsäure und Leberfett (16).

Auch weitere Inhaltsstoffe zuckerhaltiger Getränke können eine Auswirkung auf den Stoffwechsel haben. Erste Ergebnisse zeigen z.B., dass Colagetränke bei einer bereits bestehenden Insulinresistenz die Entwicklung eines Typ 2 Diabetes begünstigen könnten, da sie die Insulinsekretion möglicherweise vermindern (17). Trotz des vergleichbaren Zuckergehaltes wird für Fruchtsaftkonsum im Gegensatz zu gezuckerten Getränken keine signifikante Beziehung zum Diabetesrisiko gefunden. Demgegenüber führt der Verzehr von Orangensaft gemäß Befunden aus epidemiologischen Studien zu einem erhöhten Gichtisiko (18). Derartige Beziehungen aus Querschnittstudien können jedoch nicht kausal interpretiert werden und müssen daher in Interventionsstudien überprüft werden. Entgegen den epidemiologischen Befunden führte der regelmäßige Verzehr von Orangensaft (ca.

20% des Tageskalorienbedarfs in Form von Orangensaft) bei gesunden Probanden nicht zu einer Erhöhung, sondern sogar zu einer Senkung des Harnsäurespiegels (17). Dies könnte durch die Hemmung der Xantinoxidase durch Flavonoide und einen urikusurischen Effekt von Vitamin C im Orangensaft erklärt sein (19, 20) und dadurch möglicherweise einer Gichtkrankung vorbeugen.

Dennoch führt auch der übermäßige Konsum von Orangensaft (in Höhe des Verzehr von gezuckerten Getränken) aufgrund des hohen Zuckergehaltes zu einem erhöhten Risiko für Übergewicht und Adipositas (21). Dies lässt sich vermeiden, wenn der Orangensaft gemeinsam mit nur drei Mahlzeiten (Frühstück, Mittagessen und Abendessen) verzehrt wird und nicht zwischendurch getrunken wird (21). Durch den Verzehr zwischendurch werden die Kalorien mutmaßlich über den Energiebedarf hinaus getrunken, während der gleichzeitige Verzehr zu den Mahlzeiten zu einer geringeren kompensatorischen Energieaufnahme in Form fester Lebensmittel der Mahlzeiten führen könnte.

Zusammenfassend ist der Zuckerverzehr in Deutschland zu hoch und sollte halbiert werden. Besonders der Verzehr zuckerhaltiger Getränke schädigt die Gesundheit, weil dieser Zucker im Körper besonders schnell anflutet und flüssige Kalorien weniger sättigen. Maßnahmen der Verhältnisprävention wie eine Steuer auf gezuckerte Getränke haben das Potential den Konsum zu verringern. Darüber hinaus sollten zuckerhaltige Getränke nicht als Zwischenmahlzeit oder Durstlöcher, sondern besser zusammen mit einer Mahlzeit konsumiert werden.

- 1 <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/sugar-guideline/en/> (zugegriffen am 5.2.2018)
- 2 Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (DGE): 12. Ernährungsbericht 2012, Bonn 2012
- 3 Almiron-Roig E, Palla L, Guest K, et al. Factors that determine energy compensation: a systematic review of preload studies. *Nutr Rev.* 2013;71:458–473
- 4 Imamura F, O'Connor L, Ye Z, Mursu J, Hayashino Y, Bhupathiraju SN, Forouhi NG. Consumption of sugar sweetened beverages, artificially sweetened beverages, and fruit juice and incidence of type 2 diabetes: systematic review, meta-analysis, and estimation of population attributable fraction. *BMJ.* 2015 Jul 21;351:h3576
- 5 [InterAct Consortium](#), Romaguera D et al. Consumption of sweet beverages and type 2 diabetes incidence in European adults: results from EPIC-InterAct. *Diabetologia.* 2013 Jul;56(7):1520-30.
- 6 https://www.verbraucherzentrale.de/sites/default/files/migration_files/media223203A.pdf (zugegriffen am 5.2.2018)
- 7 <http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/fiscal-policies-diet-prevention/en/> (zugegriffen am 9.2.2018)
- 8 Schwendicke F, Stolpe M. Taxing sugar-sweetened beverages: impact on overweight and obesity in Germany. *BMC Public Health.* 2017 Jan 17;17(1):88.
- 9 Isoglukose-Warum der Zuckersirup zum Problem werden könnte. *Ärzte Zeitung online*, 19.10.2017, https://www.aerztezeitung.de/news/news_ticker/article/945677/isoglukose-zuckersirup-problem-koennte.html (zugegriffen am 9.2.2018).
- 10 Isoglukose- Diabetes-Experten sind besorgt. *Ärzte Zeitung online*, 16.10.2017 <https://www.aerztezeitung.de/panorama/ernaehrung/article/945498/isoglukose-diabetes-experten-besorgt.html>
- 11 Pressekonferenz der „Aktion gesunde MwSt.“ anlässlich der Vorstellung der Studie „Die Auswirkungen der Besteuerung von Lebensmitteln auf Ernährungsverhalten, Körpergewicht und Gesundheitskosten in Deutschland“ https://www.deutsche-diabetes-gesellschaft.de/fileadmin/Redakteur/Presse/Pressemitteilungen/2017/01_Programm_PK_Steuerstudie_F.pdf (zugegriffen am 9.2.2018).
- 12 Hanefeld M, Koehler C, Schaper F, Fuecker K, Henkel E, Temelkova-Kurktschiev T. Postprandial plasma glucose is an independent risk factor for increased carotid intima-media thickness in non-diabetic individuals. *Atherosclerosis.* 1999 May;144(1):229-35.

- 13 Levitan EB¹, Song Y, Ford ES, Liu S. Is nondiabetic hyperglycemia a risk factor for cardiovascular disease? A meta-analysis of prospective studies. *Arch Intern Med.* 2004 Oct 25;164(19):2147-55.
- 14 Del Prato S, Leonetti F, Simonson DC, Sheehan P, Matsuda M, DeFronzo RA. Effect of sustained physiologic hyperinsulinaemia and hyperglycaemia on insulin secretion and insulin sensitivity in man. *Diabetologia.* 1994 Oct;37(10):1025-35.
- 15 Kahlhöfer J, Karschin J, Silberhorn-Bühler H, Breusing N, Bosy-Westphal A. Effect of low-glycemic-sugar-sweetened beverages on glucose metabolism and macronutrient oxidation in healthy men. *Int J Obes (Lond).* 2016 Jun;40(6):990-7
- 16 Tappy, L., Lê, K. A., Does fructose consumption contribute to non-alcoholic fatty liver disease? *Clin. Res. Hepatol. Gastroenterol.* 2012, 36, 554–560.
- 17 Büsing F, Nas A, Hägele F, Aschoff J, Gnädinger L, Schweiggert R, Carle R, Bosy-Westphal A. Regular consumption of orange juice and cola differently affects metabolic risk in healthy subjects. *Clin Nutr* 2018, in revision.
- 18 Choi HK, Willett W, Curhan G. Fructose-rich beverages and risk of gout in women. *JAMA.* 2010 Nov 24;304(20):2270-8. doi: 10.1001/jama.2010.1638. Epub 2010 Nov 10.
- 19 Huang HY, Appel LJ, Choi MJ, Gelber AC, Charleston J, Norkus EP, Miller ER 3rd. The effects of vitamin C supplementation on serum concentrations of uric acid: results of a randomized controlled trial. *Arthritis Rheum.* 2005 Jun;52(6):1843-7.
- 20 Haidari F, Ali Keshavarz S, Reza Rashidi M, Mohammad Shahi M. Orange juice and hesperetin supplementation to hyperuricemic rats alter oxidative stress markers and xanthine oxidoreductase activity. *J Clin Biochem Nutr.* 2009 Nov;45(3):285-91.
- 21 Hägele AF, Büsing F, Nas A, Aschoff J, Gnädinger L, Schweiggert R, Carle R, Bosy-Westphal A. High orange juice consumption with or in-between three meals a day differently affects energy balance in healthy subjects. *Nutrition and Diabetes* 2018, in press.

***Genome editing* bei Nutzpflanzen – wissenschaftliche und rechtliche Aspekte**

Christian Jung

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Einleitung

Im Jahr 2012 erschien eine Publikation aus den Arbeitsgruppen von Jennifer Doudna und Emmanuelle Charpentier, in der eine neue Methode zur gezielten Induktion von Mutationen in komplexen Genomen beschrieben wurde (Jinek et al. 2012). Diese Methode komplettierte eine Reihe zuvor publizierter Verfahren, die allgemein als *genome editing* bezeichnet werden. Korrekterweise müsste es *gene editing* heißen, weil in der Regel nur einzelne Gene mutagen verändert werden. Allgemein hat sich jedoch der Begriff *genome editing* heute durchgesetzt. Schnell stellte sich heraus, dass die von Charpentier und Doudna vorgeschlagene Methode allen früheren Methoden weit überlegen war. Über 4.500 Zitate (Stand: Januar 2018) belegen die breite Anwendung der Methode in allen organismischen Reichen sowie am Menschen. Auch für die Tier- und Pflanzenzüchtung eröffnet die Methode völlig neue Möglichkeiten. Heute wird sie verkürzt als CRISPR/Cas-Methode bezeichnet. Es existieren inzwischen eine Reihe von Modifikationen, die zum Teil noch präzisere Genveränderungen bis zur gezielten Veränderung einer einzelnen Base erlauben.

Das CRISPR/Cas -System zur gezielten Veränderung von Genen und Genomabschnitten

Die Typ II CRISPR/Cas -Systeme schützen Bakterien gegen das Eindringen fremder DNA (Phagen, Plasmide). CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeat) sind kurze palindromische DNA-Sequenzen mit Homologie zu extrazellulären Sequenzen. Cas9 ist eines von zahlreichen Endonukleasen, die in Assoziation mit CRISPR-RNA DNA-Doppelstrangbrüche erzeugen. Somit wird eindringende DNA gezielt zerstört. Charpentier und Doudna haben dieses System weiterentwickelt, um in beliebigen Genomen präzise Mutationen hervorrufen zu können. Das System beruht auf einer sgRNA (single guide RNA), die zwanzig Nukleotide lang ist. Diese Sequenz wird vom Experimentator festgelegt und ist vollständig homolog

zum Zielgen. Das Verfahren setzt also die Kenntnis der Zielsequenz voraus. Dies ist heute kein Problem mehr, weil alle relevanten Nutzpflanzen-Genome sequenziert worden sind und die Sequenzen in öffentlich verfügbaren Datenbanken abgelegt sind. Auf weitere Spezifitäten des CRISPR/Cas Systems soll hier nicht eingegangen werden. Hierzu liegen eine Reihe von Review-Artikeln vor, die die Anwendung bei Pflanzen und Tieren beschreiben (Jung et al. 2017; Arora and Narula 2017; Mishra and Zhao 2018; Zhang and Gao 2017).

Die Sequenz für die sgRNA sowie für das Cas-Protein müssen in den Kern der Pflanzenzelle eingeschleust und in das Genom stabil integriert werden. Nach Transkription der RNA und Translation des Proteins erfolgt ein präziser Schnitt im gewünschten Gen, der von dem endogenen Reparatursystem, welches in jeder lebenden Zelle vorhanden ist, sofort repariert wird. In den meisten Fällen verheilt die Schnittstelle, ohne dass es zu Veränderungen kommt. Wird das Reparatursystem jedoch „überfordert“, so kommt es zu Deletion einzelner oder mehrerer Nukleotide oder zum Verlust größerer Sequenzabschnitte. Diese Deletionen führen in 66 % der Fälle zum Ausfall der Genfunktion, weil sie zu *frame shift* Mutationen führen (alle nicht durch drei teilbaren Deletionen/Insertionen). Somit können gezielt *knock-out*-Mutationen erzeugt werden. Beim Design der sgRNA ist darauf zu achten, dass sie nur an einer Stelle im Genom bindet und keine *off-target*-Effekte auftreten.

Jedoch kann die Sequenz so gewählt werden, dass gezielt mehrere Mutationen in sehr ähnlichen Genen (Paralogen) stattfinden. Das ist insbesondere bei polyploiden Arten erwünscht, bei denen Gene in der Regel in mehrfacher Form vorliegen. Mit der herkömmlichen Zufallsmutagenese sind gleichzeitig auftretende Mehrfachmutationen ausgeschlossen. Mehrfachmutanten müssen erst durch mühsame Kreuzungsexperimente erzeugt werden. Dies kann durch CRISPR/Cas-Mutagenese in einem Schritt erfolgen.

Das Einbringen der benötigten Sequenzen erfolgt im Allgemeinen durch Transformation mit dem *Agrobacterium tumefaciens*-System. Damit entsteht eine gentechnisch veränderte Pflanze, die an einer Stelle die T-DNA und an einer anderen Stelle die gewünschte Mutation enthält. Da die Kopplung beider Ereignisse selten ist (abhängig von der Zahl der Chromosomen) können in der nachfolgenden Generation leicht rekombinante Mutanten identifiziert werden, denen die T-DNA fehlt, d. h. sie sind nicht transgen.

Trotzdem wird intensiv nach Verfahren gesucht, die CRISPR/Cas-Mutagenese ohne Gentransfer zu bewerkstelligen. Dies wurde bereits an mehreren Nutzpflanzen erfolgreich durchgeführt. Dabei werden Protoplasten mit

Ribonukleoproteinen (RNPs) zusammengebracht, die aus der sgRNA und Cas9-Protein bestehen. Wenn die Protoplasten diese RNPs aufnehmen, und diese in der Zelle in den Kern eingeschleust werden, kommt es zur gewünschten Mutagenese, ohne dass eine gentechnisch veränderte Zelle entsteht.

Beispiele mit Relevanz für die Pflanzenzüchtung

Die Zahl der CRISPR/Cas Publikationen mit Nutzpflanzen ist in den letzten Jahren geradezu explodiert. Zunächst wurde mit Modellorganismen wie Tabak und Arabidopsis gearbeitet. Danach folgten Publikationen mit den wichtigsten Nutzpflanzen wie Reis, Mais und Weizen. Zahlreiche Arbeiten belegen, dass unerwünschte Gene mit dieser Methode gezielt ausgeschaltet werden konnten. Die Merkmale sind zum Teil von hoher züchterischer Relevanz und in vielen Fällen überhaupt erstmalig durch CRISPR/Cas hervorgerufen worden. Im Folgenden sollen nur einige wenige Arbeiten exemplarisch erläutert werden. Es gibt eine Reihe von Review-Artikeln, die eine Übersicht über die CRISPR/Cas Mutagenese bei Nutzpflanzen geben (s.o.). Eine der bedeutendsten Arbeiten führte zur Erzeugung Mehltau-resistenter Weizenpflanzen. Hier handelt es sich um eine rezessive Resistenz, die durch das Ausschalten eines bestimmten Gens hervorgerufen wird. Dieses Gen (*mlo*) kodiert für ein Membran-Protein, welches für den Schaderreger essentiell ist, um die Zelle zu infizieren. Bei Weizen handelt es sich jedoch um eine polyploide Pflanze, in der drei Kopien dieses Gens vorliegen. Es war bisher unmöglich, alle drei Kopien (Paraloge) gleichzeitig mittels Zufallsmutagenese auszuschalten. Dies war 2014 erstmalig durch *genome editing* mittels CRISPR/Cas und eines zuvor verbreiteten Verfahrens gelungen (Wang et al. 2014). Die Dreifachmutanten waren vollständig gegen den Schaderreger resistent und die Resistenz wurde stabil an Nachfolgenerationen weitergegeben.

Eine weitere bahnbrechende Arbeit befasste sich mit der Dürresistenz bei Mais. In diesem Fall wurden nicht nur eine oder wenige Basen mutiert, sondern ein größerer Sequenzabschnitt ausgetauscht. Es handelt sich um den Genschalter vor einem Transkriptionsfaktor, welcher viele andere Gene reguliert. Dieser Genschalter (Promotor), der sich vor dem Gen befindet, wurde durch einen anderen Promotor aus derselben Pflanze ersetzt (*promotor swapping*) bzw. ergänzt (Shi et al. 2016). Der Grund dafür war, dass der native Promotor relativ schwach war, während der neue Promotor zu einer wesentlich stärkeren Transkriptionsaktivität führt. Diese erhöhte Aktivität führte zu erhöhter Dürretoleranz, die bereits in Feldversuchen bestätigt worden ist. Die Arbeit ist unter zweierlei Gesichtspunkten bemerkenswert. Zum einen zeigt sie, dass größere Sequenzabschnitte präzise ausgeschnitten und durch andere Sequenzen

ersetzt werden können. Dies gelingt durch eine abgewandelte Methode, bei der gleichzeitig zwei Schnitte an den Enden der Zielsequenz gesetzt werden. Weiterhin zeigt die Arbeit, dass auch komplex vererbte (quantitative) Merkmale mit CRISPR/Cas verändert werden können. Hier ergeben sich ungeahnte Möglichkeiten für die züchterische Verbesserung von Nutzpflanzen. Die Genomforschung hat gerade in letzter Zeit verblüffende neue Erkenntnisse über die Domestikation von Nutzpflanzen geliefert. So gibt es oftmals nur ein oder wenige Gene, die entscheidend für die züchterische Verbesserung der Pflanzen sind. Dabei handelt es sich um Transkriptionsfaktoren (TF), die viele andere stromabwärts gelegene Gene kontrollieren. Wird ein derartiger TF verändert, so hat das Auswirkungen auf alle stromabwärts gelegenen Gene und somit auch auf die Ausprägung quantitativer Merkmale. Es gibt inzwischen weitere Beispiele, wo die Mutation von TFs zu drastischen Veränderungen führt, z. B. bei der Architektur der Tomatenpflanze (Soyk et al. 2017). Sogar über die gezielte Überführung von Wildpflanzen, die bisher überhaupt nicht züchterisch bearbeitet worden sind, in Kulturpflanzen durch gezielte Mutagenese der relevanten Gene wird diskutiert. Letztendlich bedeutet das eine Verkürzung der Kulturpflanzen-Evolution auf einen überschaubaren Zeitraum, während dies in der Vergangenheit Jahrhunderte oder Jahrtausende gedauert hat.

Öffentliche Positionierung

Die CRISPR/Cas-Technologie hat eine öffentliche Debatte auf verschiedenen Ebenen ausgelöst. Leider erinnert diese fatal an die Debatte um die Gentechnik, die in den letzten Jahren zu dem bekannten Ergebnis geführt hat. So haben sich erstaunlicherweise eine Reihe von europäischen NGOs aus dem Bereich Umweltschutz sowie von ökologischen Anbauverbänden pauschal negativ geäußert und ein de facto Verbot gefordert, indem diese Pflanzen wie GVOs rechtlich eingestuft werden sollten. Auf der anderen Seite gibt es zahlreiche Stellungnahmen aller relevanten Wissenschaftsorganisationen (z. B. Leopoldina, EPSO, EASAC), die die Chancen der Technologie hervorheben und eine Bewertung nach den Eigenschaften der Pflanzen und nicht nach dem Verfahren fordern, nach dem sie erzeugt worden sind. Klar ist, dass es sich bei CRISPR/Cas um eine gentechnische Methode handelt! Die Frage ist nur, ob die daraus entstehenden Organismen als GVO einzustufen sind. Klar ist ebenso, dass sich CRISPR/Cas-Mutationen immer eindeutig nachweisen lassen. Aber gleichzeitig muss man wissen, dass sie sich, zumindest was die Mutation einiger oder weniger Basen anbelangt, niemals von spontanen („natürlichen“) Mutationen unterscheiden lassen. Und hier liegt das Problem für alle, die vollmundig eine Kennzeichnung dieser Pflanzen fordern. Heute haben wir eine genaue Vorstellung, wie häufig Mutationen in Pflanzen stattfinden. Diese sind

durch die natürliche Fehlerrate der DNA-Polymerase und durch natürliche Umweltfaktoren (z. B. ionisierende Strahlung) bedingt. Man muss wissen, dass alle Nachkommen aller Lebewesen gegenüber ihren Eltern mutagen verändert sind! So können beim Ölrapr beispielsweise bis zu sechzehn Mutationen in einer Tochterpflanze erwartet werden. Diese lassen sich heute durch Totalsequenzierung der Genome nachweisen. Damit käme es zu der absurden Situation, dass eine CRISPR/Cas-veränderte Pflanze mit einer einzigen Mutation sämtlichen Auflagen des Gentechnikrechts unterliegen würde, während eine Schwesterpflanze aus derselben Nachkommenschaft, die über eine unbekannte Anzahl an Mutationen unbekannter Wirkung verfügt, davon nicht betroffen wäre.

Rechtliche Situation

Leider gibt es in der EU bisher keinerlei Rechtssicherheit im Umgang mit Pflanzen, die durch *genome editing* verändert worden sind. Dabei zeigt das Gentechnikrecht eigentlich in eine eindeutige Richtung. Dort werden nämlich mutagen veränderte Pflanzen nicht als GVO klassifiziert. Folgerichtig haben mehrere wissenschaftliche Gremien und verantwortliche Länderbehörden diese Pflanzen als nicht-GVO eingestuft. In Deutschland gibt es einen Beschluss der zentralen Kommission für biologische Sicherheit (ZKBS), die an dem zuständigen Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit angesiedelt ist, nach dem alle Mutationen bis zu einer Länge von zwanzig Basenpaaren nicht als gentechnische Veränderung einzustufen sind. Es gibt Initiativen aus den Niederlanden und Schweden, entsprechende Regelungen in der EU zu übernehmen. Erst vor kurzem hat der *Advokat General* des Europäischen Gerichtshofes eine Stellungnahme abgegeben, in der es heißt, dass Mutagenese-Techniken nicht unter die GVO Richtlinie 2001/18/EC fallen. Dies dürfte für die in Kürze anstehende Entscheidung des EUG eine Signalwirkung haben. Leider heißt es aber auch in der gleichen Stellungnahme, dass es den einzelnen Mitgliedsstaaten überlassen sein sollte, eigene Regelungen aufzustellen. Dies lässt einen weiteren regulativen Flickenteppich erwarten, wie wir ihn bereits vom Gentechnikrecht her kennen.

Eindeutige Einstufungen von gezielt mutagenisierten Nutzpflanzen gibt es bisher in drei Staaten. Das US Department of Agriculture (USDA) hat schon 2004 explizit festgelegt, dass die Ergebnisse der Oligonukleotid gerichteten Mutagenese mit denen der spontanen Mutagenese gleichzusetzen ist. Diese alte und heute nicht mehr verwendete Technik führte zu gleichen Veränderungen wie die CRISPR/Cas-Technologie. Somit können Nutzpflanzen, die die gleichen Bedingungen erfüllen, wie sie von der ZKBS skizziert worden sind, in den USA

ohne Einschränkungen genutzt werden. Eine ähnliche Regelung gibt es in Kanada. Argentinien hat als erstes Land gesetzliche Regelungen für „neue Züchtungstechnologien“ aufgestellt. In Analogie zu den Bewertungsrichtlinien in Nordamerika werden dort die Pflanzen nach ihren Eigenschaften bewertet, und nicht nach der Methode, mit der die Veränderung hervorgerufen wurde. Das bedeutet, dass neuartige dürrerotolerante oder krankheitsresistente Pflanzen in diesen Ländern der Landwirtschaft zur Verfügung stehen werden, während man für Europa befürchten muss, dass die Auseinandersetzungen darüber noch lange andauern werden und keine Entscheidung in Brüssel gefällt wird. Das bedeutet aber auch, dass derartige Pflanzen in Form von Saat- oder Erntegut oder prozessierten Produkten nach Europa gelangen werden, ohne dass wie im Fall der GVO eine Unterscheidung von herkömmlich gezüchteten Pflanzen und deren Produkten möglich ist. Denn wenn es kein entsprechendes Dokumentationssystem gibt, werden sich solche Pflanzen niemals von spontanen Mutanten unterscheiden lassen.

Literatur

- Arora L, Narula A (2017) Gene Editing and Crop Improvement Using CRISPR-Cas9 System. *Frontiers in Plant Science* 8 (1932). doi:10.3389/fpls.2017.01932
- Jinek M, Chylinski K, Fonfara I, Hauer M, Doudna JA, Charpentier E (2012) A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science* 359
- Jung C, Capistrano-Gossmann G, Braatz J, Sashidhar N, Melzer S (2017) Recent developments in genome editing and applications in plant breeding. *Plant Breeding* 00:1–9. <https://doi.org/10.1111/pbr.12526>.
- Mishra R, Zhao K (2018) Genome editing technologies and their applications in crop improvement. *Plant Biotechnology Reports*. doi:10.1007/s11816-018-0472-0
- Shi J, Gao H, Wang H, Lafitte HR, Archibald RL, Yang M, Hakimi SM, Mo H, Habben JE (2016) ARGOS8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions. *Plant Biotechnology Journal*:n/a-n/a. doi:10.1111/pbi.12603
- Soyk S, Lemmon ZH, Oved M, Fisher J, Liberatore KL, Park SJ, Goren A, Jiang K, Ramos A, van der Knaap E, Van Eck J, Zamir D, Eshed Y, Lippman ZB (2017) Bypassing Negative Epistasis on Yield in Tomato Imposed by a Domestication Gene. *Cell* 169 (6):1142-1155.e1112. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.04.032>
- Wang Y, Cheng X, Shan Q, Zhang Y, Liu J, Gao C, Qiu J-L (2014) Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nat Biotech* 32 (9):947-951. doi:10.1038/nbt.2969
- Zhang Y, Gao C (2017) Recent advances in DNA-free editing and precise base editing in plants. *Emerging Topics in Life Sciences* 1 (2):161-168. doi:10.1042/etls20170021

Ökonomische und Politische Zahlungsbereitschaft sowie tatsächliche Kosten für Tierwohl

Prof. Dr. Dr. Christian Henning und Michael Grunenberg, M.A.

Institut für Agrarökonomie

1. Einleitung & Motivation

In den letzten Jahren hat die Nachfrage nach Tierwohl stark zugenommen, immer mehr Menschen in Deutschland äußern den Wunsch nach einer tiergerechten Haltung (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMEL 2015). Genau wie Umweltschutz oder Biodiversität handelt es sich beim Tierwohl um ein durch die Landwirtschaft bereitgestelltes öffentliches Gut. Während es wissenschaftlich allgemein anerkannt ist, dass der Markt bei der Bereitstellung öffentlicher Güter fundamental versagt, stellt sich die Frage, inwieweit die Politik eine effiziente Bereitstellung von Nachhaltigkeitsgütern wie Tierwohl leisten kann. In diesem Zusammenhang wird gerade im Kontext der Agrarpolitik regelmäßig auf Politikversagen in Form von sogenannter *Special Interest Politics* verwiesen, d.h. Politikverzerrungen zu Gunsten einer kleinen aber gut organisierten sozio-ökonomischen Gruppe auf Kosten der Allgemeinheit. Gerade der Europäische Agrarprotektionismus wird als Paradebeispiel von *Special Interest* Politik zu Gunsten der Agrarlobby und auf Kosten der Verbraucher immer wieder angeführt. Interessanterweise wird nun die Debatte über Nachhaltigkeitsgüter, die zentral durch die öffentliche Meinung – beflügelt durch mediale Berichterstattung – angestoßen wird, als ein Paradigmenwechsel der Agrarpolitik weg vom Gängelband der Agrarlobby hin zu einer verstärkten Ausrichtung an den gesellschaftlichen Interessen proklamiert. Allerdings gibt es neben dem Lobbying auch andere Gründe für Politikversagen, die gerade hinsichtlich vermeidlich basisdemokratischer Politikprozesse relevant sind. Unter anderem verweisen Caplan (2001, 2002) wie auch andere berühmte Wirtschaftswissenschaftler (Akerlof 1989; Sachs 1994) auf die Tatsache, dass individuelle Wähler im Gegensatz zu politischen Experten ihre Politikpräferenzen auf der Grundlage oft sehr vereinfachter laienhafter Vorstellungen hinsichtlich der Auswirkung konkreter politischer Maßnahmen ableiten. Diese laienhaften Vorstellungen, die auch als *Politische Beliefs* bezeichnet werden, sind im Vergleich zu tatsächlichen Politikwirkungen sehr verzerrt. Entsprechend können Politikprozesse, die sich zentral an der öffentlichen Meinung orientieren, zu extrem ineffizienten Politikergebnissen führen und es kann zu einem *Paradox des basisdemokratischen Versagens* in dem folgenden Sinne kommen. Sind die *Policy Beliefs* der Wähler systematisch verzerrt, so kann ein erhöhter Lobbyingeeinfluss zu einer Pareto-dominanten Politikverbesserung führen. Dies

kann selbst dann der Fall sein, wenn man davon ausgeht, dass Lobbying extrem zu Gunsten spezieller Partikularinteressen verzerrt ist.

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Entfremdung zwischen Gesellschaft und Landwirtschaft erscheint besonders ein so emotionales wie komplexes Thema wie das Tierwohl prädestiniert für die Herausbildung von laienhaften Vorstellungen hinsichtlich spezieller Politikwirkungen. Insbesondere kann es dazu kommen, dass individuelle Verbraucher die tatsächlichen Kosten von Tierwohl systematisch unterschätzen und somit naiv für Tierwohlstandards plädieren, die sie bei Kenntnis der wahren Tierwohlkosten als viel zu hoch einschätzen würden. Basiert die jüngste Nachhaltigkeitsdebatte auf systematisch verzerrten Wählerbeliefs und stellen die jüngsten Nachhaltigkeitsreformen der EU-Agrarpolitik somit ein Beispiel eines basisdemokratischen Politikversagens dar? Oder aber spiegelt die öffentliche Meinung wahre Wählerpräferenzen wieder und *Greening* ist eine gesellschaftlich notwendige Korrektur verzerrter Lobbyingpolitik vergangener Tage?

Diese Frage soll anhand eigener Umfragedaten am Beispiel von Tierwohlpolitiken wie auch anderer Nachhaltigkeitspolitiken, wie dem Klima- oder Wasserschutz, in diesem Beitrag empirisch analysiert werden.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Samuelson Kriterium zur optimalen Bereitstellung öffentlicher Güter

Entsprechend des Samuelson Kriteriums ist die Bereitstellung eines öffentlichen Gutes, Z , aus Sicht einer Gesellschaft, G , genau dann Pareto-optimal, wenn die Summe der marginalen Zahlungsbereitschaften der individuellen Gesellschaftsmitglieder, $\beta_g, g \in G$, gerade den Grenzkosten der Bereitstellung des Gutes ($C'(Z)$) entspricht:

$$(1) \quad \sum_{g \in G} \beta_g = C'(Z)$$

Die Kosten ergeben sich dabei je nach politischer Technologie, $F(X)$ als die minimalen staatlichen Ausgaben (X) die aufgebracht werden müssen, um die Menge Z des öffentlichen Gutes zu produzieren:

$$(2) \quad C(Z) = \text{Min}\{X | F(X) \geq Z\}$$

Geht man von einer einfachen Cobb-Douglas Technologie aus, $F(X) = \Gamma X^\gamma \Leftrightarrow C(Z) = \Gamma^{-\frac{1}{\gamma}} Z^{\frac{1}{\gamma}}$, so folgt für die Pareto-optimale Menge Z^* bzw. die Pareto-optimalen Budgetausgaben, X^* :

$$(3) \quad Z^* = \left(\gamma \bar{\beta} \Gamma^{-\frac{1}{\gamma}} \right)^{\frac{\gamma}{(1-\gamma)}}, X^* = \left(\gamma \bar{\beta} \Gamma \right)^{\frac{1}{(1-\gamma)}} \text{ mit: } \bar{\beta} = \sum_{g \in G} \beta_g$$

Geht man nun davon aus, dass die gesellschaftlichen Kosten der Bereitstellung der öffentlichen Güter gleichmäßig auf die individuellen Gesellschaftsmitglieder aufgeteilt wird, so lassen sich die jeweils individuell präferierten Ausgaben für ein Nachhaltigkeitsgut (X^*g) bzw. das individuell präferierte Nachhaltigkeitsniveau gerade aus Gl. (3) berechnen, indem man durch $n \times \beta_g$ substituiert. Je höher die individuelle marginale Zahlungsbereitschaft eines Gesellschaftsmitglieds für ein öffentliches Gut ist, umso höher sind auch die präferierten Ausgaben für dieses Gut bzw. die präferierte Menge. Aus heterogenen Präferenzen für öffentliche Güter ergeben sich also grundsätzlich heterogene Politikpräferenzen.

2.2 Pareto-optimale Bereitstellung öffentlicher Güter durch ideale politische Prozesse

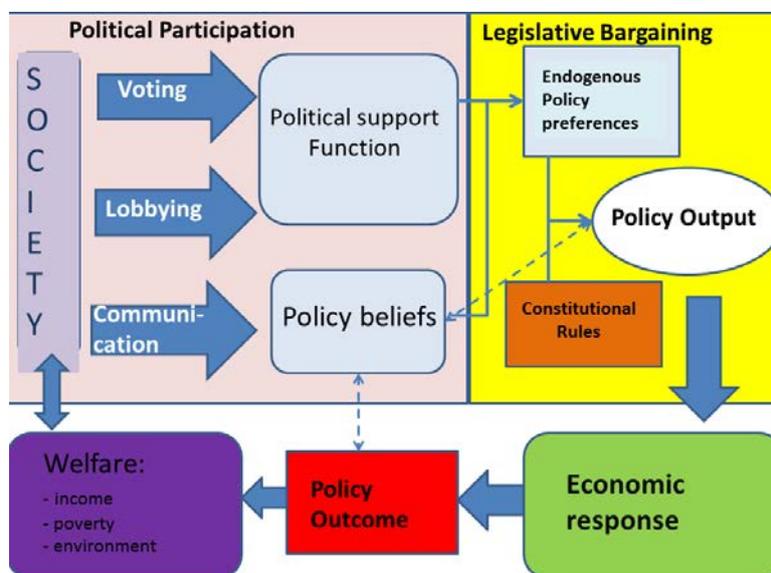
Die Frage ist nun wie politische Prozesse heterogene Politikpräferenzen zu einer gemeinsamen Politik aggregieren. Politische Prozesse korrespondieren dabei grundsätzlich zu anderen Aggregationsmechanismen als der Markt. Ein idealer demokratischer politischer Entscheidungsprozess ist dabei die Mehrheitswahl. Geht man von einem idealisierten basisdemokratischen Entscheidungsprozess, d.h. einer eindimensionalen Mehrheitsabstimmung aus, so konnte Duncan Black zeigen, dass das stabile Ergebnis dieser Abstimmung immer die Medianposition ist, d.h. ordnet man die präferierten Ausgaben (X_g^*) der Größe nach, so lässt sich immer eine Medianposition (\hat{X}_{med}) finden, d.h. die Hälfte der Gesellschaftsmitglieder hat eine Position, die geringer oder gleich hoch ist, und die Hälfte der Gesellschaftsmitglieder hat eine Position die größer oder gleich groß als die Medianposition ist. Interessanter Weise konnte Downs unter bestimmten Bedingungen auch für eine repräsentative Demokratie zeigen, dass der Parteienwettbewerb um die Mehrheit der Wählerstimmen, die konkurrierenden Parteien im Gleichgewicht dazu bringt, gerade die Medianwählerposition einzunehmen. Geht man nun weiterhin von einer symmetrischen Verteilung der Wählerpräferenzen aus, so folgt, dass der Median gerade dem Mittelwert entspricht und somit ideale politische Prozesse zu einer Pareto-optimalen Bereitstellung öffentlicher Güter führen.

2.3 Reale politische Prozesse und das Paradox eines basisdemokratischen Politikversagens

Leider weichen reale politische Prozesse in vielerlei Hinsicht von den von Downs bzw. Black unterstellten idealen politischen Prozessen ab. Insbesondere setzen die idealen politischen Prozesse voraus, dass individuelle Wähler die politische Technologie ($C(Z)$ bzw. $F(X)$) kennen. Tatsächlich sind die meisten Wähler aber politische Laien, d.h. sie verstehen die technischen Zusammenhänge und Politikwirkungen nicht. Stattdessen bilden sie naive mentale Modelle, politische *Beliefs*, mit denen sie die Politikwirkungen ableiten. Bezeichnen wir mit $F\#$ bzw. $C\#$ die *Beliefs*, so ist offensichtlich, dass selbst ideale politische Prozesse zu verzerrten Pareto-inferioren Ergebnissen führen, solange die Wähler*beliefs* hirneichend stark verzerrt sind. Ein weiterer Grund warum reale politische Prozesse von den idealen

Prozessen abweichen, liegt daran, dass Wähler die Wahl eines Kandidaten bzw. einer Partei nicht allein auf deren politisches Programm stützen. Gerade weil Wähler komplexe Politikwirkungen nur bedingt oder gar nicht verstehen, stützen sie ihre Parteienpräferenzen auf andere nichtpolitische Indikatoren, die sie leichter verstehen bzw. messen können. Dies kann z.B. Charisma der Spitzenkandidaten sein oder die grundlegende ideologische Ausrichtung einer Partei, Arbeiterpartei versus Unternehmerpartei etc. Schließlich lassen sich Wähler in ihrer Wahl durch Aktivitäten von organisierten Interessengruppen, denen sie sich strukturell zugehörig oder verbunden fühlen, manipulieren. Wie in Abbildung 1 dargestellt stehen realen demokratischen Gesellschaften drei Wege der Partizipation offen. Der offensichtlichste entspricht der Abstimmung bzw. Wahl. Neben der Wahl werden gesellschaftliche Interessen durch Lobbying-Aktivitäten organisierter Interessengruppen vermittelt, die Einfluss auf die Politik nehmen.

Abbildung 1: Der politische Prozess



Quelle: Eigene Darstellung

Der dritte Weg führt über die Kommunikation in der Öffentlichkeit, die Vorstellungen über Politiken – die *Beliefs* – und deren Wirkung konstituiert. Diese Wirkung entfalten sie in unserem in Abbildung 1 dargestellten theoretischen Rahmen über die direkte politische Unterstützung politischer Akteure aus der Gesellschaft heraus.

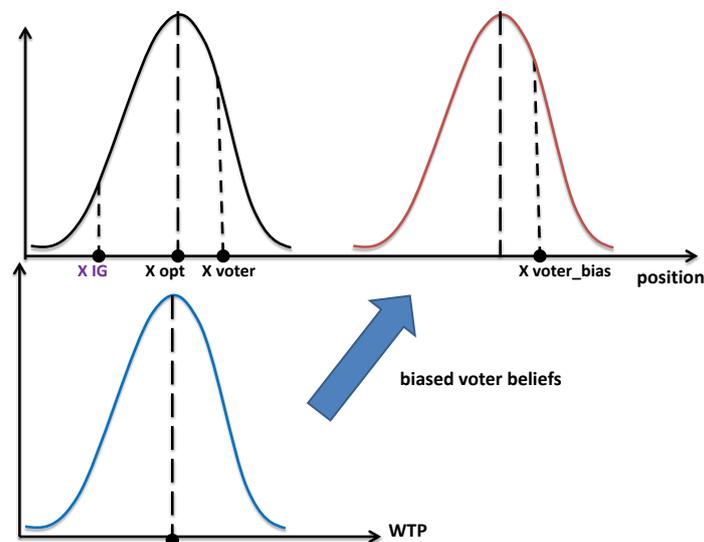
Modelliert man reale politische Prozesse, so ergibt sich Regierungspolitik als Nash-Gleichgewicht eines *Political Game* zwischen Parteien, Interessengruppen und Wählern (vgl. Brook/Magee 1981, Grossman/Helpman 1996). Nach ökonomischer Wohlfahrt strebende Interessengruppen unterstützen strategisch politische Parteien, die ihrerseits politische Unterstützung suchen und durch strategische Politikpositionen ihre Wiederwahlchancen maximieren wollen. Diese Politikpositionen basieren auf der Reaktion der Wähler auf entsprechende Positionen

der Parteien sowie den Lobbying-Aktivitäten der Interessengruppen. Wahlverhalten wird dabei mit der Hilfe probabilistischer Wählermodelle modelliert, nach denen Wähler gerade die Partei wählen, die ihnen den größten Nutzen verspricht. Die politische Gleichgewichtsentscheidung ist das Maximum einer gewichteten Wohlfahrtsfunktion, in die sowohl Wähler- als auch Interessengruppenpräferenzen einfließen. Konkret entspricht die politische Gleichgewichtsentscheidung gerade dem gewichteten Mittelwert über die Idealpositionen aller Wähler und aller relevanten Interessengruppen:

$$(4) \quad X^* = \delta \sum_{g \in G} \omega_g X_g^* + (1 - \delta) \sum_I \Omega_I X_I^*$$

δ ist dabei das politische Gewicht der gesamten Wähler gegenüber dem Gewicht der gesamten Interessengruppen. Je größer δ desto stärker basisdemokratisch ist ein realer politischer Prozess, d.h. auf den Wähler fokussiert, während umgekehrt ein geringes Gewicht der Wähler ein Indikator für starken Lobbyingeinfluss darstellt. Innerhalb der Wähler bzw. Interessengruppen ergeben sich unterschiedliche relative politische Gewichte (ω_g) bzw. (Ω_I). Die relativen Gewichte der Wähler, insbesondere auch δ , werden zentral durch das individuelle Wählerverhalten, d.h. die Bedeutung von politik-orientierten versus nichtpolitik-orientierten Wahlmotiven determiniert, während die relativen Gewichte der Interessengruppen im Wesentlichen durch die relative Lobbyingkapazitäten determiniert werden. Geht man zunächst von klassischen polit-ökonomischen Modellen aus und nimmt an, dass alle politischen Akteure die wahre politische Technologie kennen, so korrespondieren ineffiziente Politikergebnisse im Sinne von *Special Interest Politics* mit einem geringen Gewicht der Wähler (δ) sowie mit asymmetrisch verteilten politischen Gewichten der Interessengruppen in Gl. (4). Dies ist in Abbildung 2a mit der Position X_{IG} graphisch dargestellt. Geht man nun allerdings davon aus, dass politische *Beliefs* der Wähler systematisch verzerrt sind, z.B. durch eine starke Über- oder aber Unterschätzung der Bereitstellungskosten charakterisiert sind, während die Interessengruppen als politische Experten die jeweiligen Kosten relativ realistisch einschätzten, so kann es zu dem Paradox eines basisdemokratischen Politikversagen kommen, d.h. obwohl die relativen politischen Gewichte sehr stark zu Gunsten spezieller Partikularinteressen verzerrt sind, z.B. zu Gunsten der Bauernlobby, führt ein geringeres Gewicht der Wähler gegenüber den Interessengruppen zu einer effizienten Bereitstellung des öffentlichen Guts (siehe X_{voter_bias} in Abbildung 2).

Abbildung 2: Das Paradoxon eines basisdemokratischen Politikversagens



Quelle: Eigene Darstellung

3. Empirische Analyse

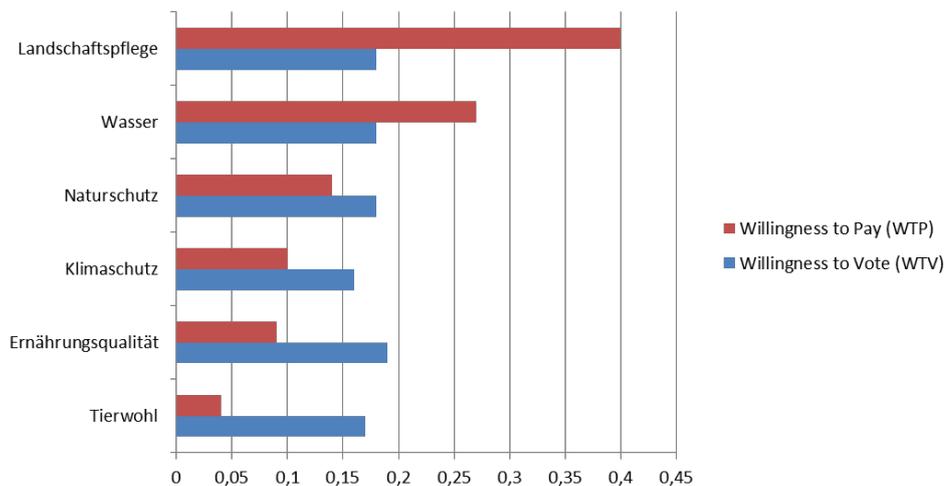
Zur Bestimmung des politökonomischen Gleichgewichts wurde eine Online-Befragung durchgeführt, die neben Choice-Experimenten zur Ermittlung ökonomischer Zahlungsbereitschaften für globale und lokale Nachhaltigkeitsgüter auch ein Wähler-Survey mit Schwerpunkt auf nachhaltigen Landnutzungspolitiken umfasste. Auf Basis dieser beiden Survey-Teile wurden unter Verwendung von Latent Class-Modellen sowohl die ökonomischen als auch die politischen WTP für Nachhaltigkeitsgüter berechnet. Politische WTPs sind dabei definiert als die marginale Wahrscheinlichkeit eine Partei zu wählen, wenn diese ihre Parteiposition hinsichtlich einer konkreten Nachhaltigkeitspolitik um eine Einheit in Richtung der Idealposition eines Wählers verschiebt. Diese beiden Schätzungen bilden die Grundlage für die Ermittlung individueller Wählerbeliefs hinsichtlich der Kostenfunktion der Bereitstellung von Nachhaltigkeitsgütern. In der Online-Befragung wurden Zahlungsbereitschaften für die globalen Nachhaltigkeitsgüter: Z1: Tierwohl, Z2. Nahrungsmittelsicherheit, Z3. Klimaschutz, Z4. Naturschutz sowie die lokalen Nachhaltigkeitsgüter: Z5. Wasserschutz, Z6. Landschaftsbild, Z7. Biodiversität erfasst. Die Befragung umfasst 1200 Online-Interviews, von denen 962 für die beiden Schätzungen verwendet werden konnten. Die Befragung umfasste Choice-Experimente für die sieben Nachhaltigkeitsgüter. Weiterhin wurde ein Wählersurvey durchgeführt, wobei neben drei makropolitischen *Issues*

explizit Politikpositionen bzgl. der Ausgaben zur Bereitstellung der sieben Nachhaltigkeitsgüter abgefragt wurden. Basierend auf der eigenen Position der Wähler sowie den von ihnen wahrgenommenen Parteipositionen wurden Distanzen zu drei Makro- und sechs Mikropolitiken berechnet, die als politik-orientierte Nutzenkomponente in die ökonometrische Schätzung entsprechender probabilistischer Wählermodelle eingegangen sind.

4. Ergebnisse

Die auf den Choice Experimenten basierenden Schätzungen implizieren interessanterweise eine signifikant höhere ökonomische Zahlungsbereitschaft (WTP) für lokale im Vergleich zu globalen Nachhaltigkeitsgüter, diese liegt bei rund 5-10 Euro pro Monat für globale und 10-30 Euro für lokale Nachhaltigkeitsgüter. Weiterhin zeigt ein Vergleich der geschätzten WTP mit der geschätzten Willingness-to-Vote (WTV) interessante Unterschiede auf. Während die WTP für Tierschutz wie auch für andere globale Nachhaltigkeitsgüter deutlich höher ausfällt als die entsprechende WTV, fällt die WTV für die lokalen Güter Wasserschutz wie auch Landschaftspflege deutlich höher aus, wie Abbildung 3 zeigt.

Abbildung 3: Ökonomische Willingness to Pay und politische Willingness to Vote (WTV)

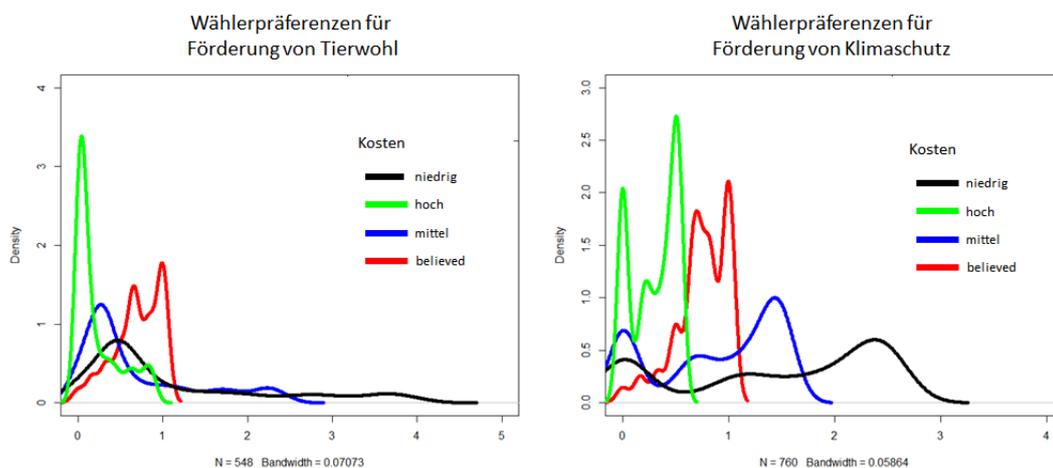


Quelle: Eigene Darstellung

Zur Interpretation dieser Ergebnisse muss allerdings berücksichtigt werden, dass WTV und WTP grundsätzlich unterschiedliche theoretische Konzepte darstellen. Während die WTP allein auf den in Geldeinheiten ausgedrückten marginalen Grenznutzen eines Gutes abhebt, geht die WTV auf die marginale Veränderung der Konsumentenrente, d.h. den marginalen Nettonutzen der zusätzlichen Bereitstellung eines Nachhaltigkeitsgutes ein, d.h. insbesondere das die WTV im Gegensatz zur WTP die marginalen Kosten der Bereitstellung mitberücksichtigen. Somit können allein aus dem Vergleich von WTV und WTP noch keine Rück-

schlüsse gezogen werden, ob, bzw. inwieweit politische Prozesse zu einer verzerrten Repräsentation gesellschaftlicher Präferenzen führen. Hierzu müssen die politischen *Beliefs* der Wähler bzgl. der Kosten mit den tatsächlichen Kosten verglichen werden. Auf der Grundlage der geschätzten individuellen WTV und WTP können die individuellen *Beliefs* hinsichtlich der Kosten der Bereitstellung für die einzelnen Nachhaltigkeitsgüter geschätzt werden, d.h. die Parameter γg und Γg . Vergleicht man die individuellen *Beliefs* (γg und Γg) mit den tatsächlichen Kostenparametern, so lassen sich Rückschlüsse hinsichtlich der Verzerrung der Wähler-*Beliefs* ziehen. Um diese Verzerrungen zu veranschaulichen, haben wir die jeweils von den individuellen Wählern empirisch bekundete politische Förderung von Tierwohl bzw. den anderen Nachhaltigkeitsgütern mit von der simulierten präferierten Förderung, die für individuelle Wählern errechnet werden kann unter der Annahme, dass diese die wahren Kosten der Bereitstellung kennen, , d.h. es gilt $\gamma g = \gamma$ und $\Gamma g = \Gamma$. Da die empirische Schätzung der tatsächlichen Kosten schwierig ist, haben wir diese jeweils niedrige, mittlere und hohe Parameterwerte für γ und Γ unterstellt, die gerade mit hohen, mittleren und niedrigen absoluten bzw. marginalen Kosten korrespondieren. Die jeweilige Verteilung der präferierten staatlichen Ausgaben zur Förderung von Tierwohl bzw. Klimaschutz sind in Abbildung 4 aufgeführt. Wie man sieht, ergeben sich für Tierwohl systematisch verzerrte *Policybeliefs*, die mit einer systematischen Unterschätzung der Bereitstellungskosten korrespondieren. Hingegen orientieren sich die individuellen Wähler*beliefs* hinsichtlich Klimaschutz zumindest im Durschnitt an den realistischen Kosten der Bereitstellung von Klimaschutz.

Abbildung 4: Präferierte Wählerposition simulierte Kosten Tierwohl vs. Klimaschutz

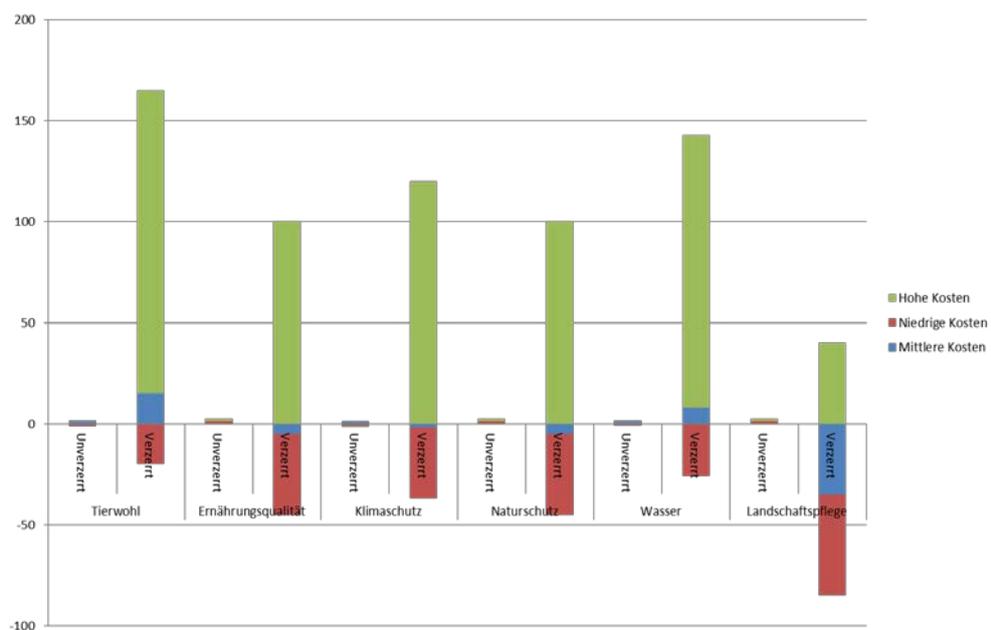


Quelle: Eigene Darstellung

Schließlich ist es interessant zu analysieren, inwieweit basisdemokratische politische Prozesse, d.h. Prozesse die allein auf den Wähler fokussiert sind, zu einer ineffizienten Tierwohlpolitik führen würden. Hierzu haben wir die Relation der im polit-ökonomischen Gleichgewicht realisierten mit den jeweiligen Pareto-op-

timalen Ausgaben für Tierwohl bzw. die anderen Nachhaltigkeitsgüter in Abbildung 5 unter der Annahme der empirisch geschätzten verzerrten *Wählerbeliefs* sowie unverzerrter *Beliefs* dargestellt. Wie man sehr gut aus Abbildung 5 ersehen kann, führen basisdemokratische Politikprozesse im Wesentlichen aufgrund von systematisch verzerrten *Wählerbeliefs* zu ineffizienten Politikergebnissen. Dies gilt insbesondere unter der Annahme, dass die tatsächlichen Bereitstellungskosten der Nachhaltigkeitsgüter relativ hoch sind, d.h. ceteris paribus unterschätzen die Wähler eher die tatsächlichen Bereitstellungskosten von Nachhaltigkeitsgütern. Letzteres gilt insbesondere für Tierwohl, wobei die *Wählerbeliefs* hinsichtlich der anderen Nachhaltigkeitsgüter zumindest im Durchschnitt den entsprechenden ermittelten mittleren Bereitstellungskosten entsprechen.

Abbildung 5: Effizienz der Bereitstellung von Nachhaltigkeitsgütern, verzerrte und unverzerrte Beliefs



Quelle: Eigene Darstellung

Berücksichtigt man, dass zumindest bzgl. Tierwohl die Bauernlobby eher verhaltene Tierwohlstandards favorisiert, so scheint zumindest für diesen Politikbereich die aktuelle Nachhaltigkeitsdiskussion tatsächlich eher ein Beispiel für das Paradoxon eines basisdemokratischen Politikversagens zu sein. Paradoxerweise impliziert dies, dass ein möglichst starker und verzerrter Einfluss der Bauernlobby tatsächlich zu einer aus gesellschaftlicher Sicht verbesserten Politik führen würde. Allerdings gibt es noch einen wichtigen grundsätzlichen Vorbehalt gegen diese Argumentation und dieser liegt in der Annahme begründet, dass ein allgemeiner Rückgang des Bruttosozialprodukts tatsächlich eine proportionale Reduktion der Wohlfahrt beinhaltet. Diese fundamentale Annahme der Wohlfahrtsökonomie wird gerade durch innovative Ansätze der Glücksforschung zunehmend in Frage gestellt.

Literatur

Akerlof, G. A. (1989), 'The economics of illusion', *Economics & Politics* **1**, 1–15.

Caplan, B. (2001), 'Rational irrationality and the microfoundations of political failure', *Public Choice* **107**, 311–331.

Caplan, B. (2002), 'Systematically biased beliefs about economics: Robust evidence of judgemental anomalies from the survey of americans and economists on the economy', *The Economic Journal* **112**, 433–458.

Grossman, G. M. & Helpman, E. (1996), 'Electoral competition and special interest politics', *Review of Economic Studies* **63**(2), 265–286.

Sachs, J. (1994), 'Life in the economic emergency room', *The Political Economy of Policy Reforms* pp. 503–523. Washington D.C: Institute for International Economics.

Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMEL (2015), 'Wege zu einer Gesellschaftlich Akzeptierten Nutztierhaltung'. Gutachten. Berlin.

Sind die Milch-Lieferbeziehungen in Deutschland noch zeitgemäß?

Sebastian Hess

Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrechts-Universität Kiel

Einleitung und Fragestellung

Vor dem Hintergrund der Tiefpreisphase 2015/16 sind die Vertrags- und Lieferbeziehungen zwischen Landwirten und Molkereien in Deutschland in den Fokus kritischer Betrachtung gerückt: Sollte die weithin übliche Andienungs- und Abnahmeverpflichtung beibehalten- oder durch Lieferverträge mit konkreter Mengen- und Preisangabe ersetzt werden? Sollten die Kündigungsfristen, zu denen Landwirte die Molkerei wechseln können, generell verkürzt werden? Und sollten Molkereien ihren Landwirten die Möglichkeit bieten, individuelle Milchmengen über Geschäfte am Warenterminmarkt (WTM) abzusichern?

Das Milch Board (2015) mahnt beispielsweise an, dass die Beziehung zwischen Erzeugern und Molkereien neu geregelt werden müssen, da insbesondere die weithin übliche, unbegrenzte Andienungspflicht nicht kartellrechtskonform sei; stattdessen werden schuldrechtliche Verträge gefordert. Eine ähnliche Forderung kommt von Seiten des Bundesverband Deutscher Milchviehhalter (2016). Dieser sieht dringenden politischen Handlungsbedarf hinsichtlich der Vorgabe verbindlicher Verträge zwischen Molkereien und Milchviehhaltern mit den Parametern Menge, Preis, Vertragsdauer und Qualität. Der Milchindustrieverband (2015) und der Deutsche Raiffeisenverband hingegen begründen den Beibehalt der Andienungspflicht und Abnahmegarantie der Molkereien als Sicherheit für Milcherzeuger bei volatilen Märkten. Der Genossenschaftsverband und der Deutsche Bauernverband (2016) vertreten ebenfalls diese Position und führen an, dass mögliche Änderungen der Lieferbeziehungen auf Ebene jeder Genossenschaft selbst durchgeführt werden sollten.

Das Bundeskartellamt (2012) stellt in seiner Sektoruntersuchung fest, dass die Ausgestaltung der Lieferbeziehung grundsätzlich eine Angelegenheit der jeweiligen Marktteilnehmer ist. Kritisiert wird jedoch, dass eine lange Vertragsdauer in Kombination mit einer vollen Andienungspflicht zu einer Lockerung der Situation für Landwirte führen kann. Des Weiteren führt das Bundeskartellamt (2017) in seinem Sachstandspapier an, dass Überlegungen zu alternativen Ausgestaltungen der Lieferbeziehungen in der Milchwirtschaft in Deutschland noch am Anfang stehen. Das Bundeskartellamt spricht sich dabei grundsätzlich für kürzere Kündigungsfristen der Lieferverhältnisse, für eine

Entkopplung von Lieferverhältnis und Genossenschaftsmitgliedschaft, für eine Preisfestlegung vor Lieferung, eine Vereinbarung fester Liefermengen mit einer Mengensteuerungsmöglichkeit durch die Molkereien sowie für eine mögliche Stärkung der Rolle von Erzeugerorganisationen aus. Darüber hinaus verweist das Bundeskartellamt darauf, dass eine einheitliche Regelung der Vertragsbedingungen vermutlich nicht den heterogenen Interessen der Akteure gerecht werden.

Milch-Lieferbeziehungen Deutschland sind dabei in der Vergangenheit bereits mehrfach Gegenstand agrarökonomischer Untersuchungen gewesen:

Offermann et al. (2017) diskutieren verschiedene Instrumente zum Risikomanagement in der Landwirtschaft. Dabei werden Milchlieferverträge als Instrument zur Absatzsicherung unter anderem auf ihre Funktionsweise, Effizienz, Akzeptanz und Marktwirkung diskutiert. Die Autoren führen an, dass bei den in Deutschland genossenschaftlich dominierten Lieferbeziehungen das Mengenrisiko (Absatzrisiko) auf die Verarbeiter übertragen wird, während ein erheblicher Teil des Preisrisikos auf die Milcherzeuger entfällt. Zudem sehen sie eine verzögerte Weitergabe von Marktsignalen an die Milcherzeuger als problematisch, da dies Produktionsanpassungen verzögern könnte. Ein Hindernis hierbei sehen Offermann et al. (2017) in der vollen Andienungspflicht und unbegrenzten Abnahmegarantie, da diese eine Streuung des Preisrisikos behindert und im Krisenfall eine sog. „inverse Angebotsreaktion“ begünstigen könnte.

Schaper et al. (2008) untersuchten ebenfalls das Risikomanagement in Milchviehbetrieben im Hinblick auf die sich ändernde EU- Milchmarktpolitik und rieten aufgrund der damit in Zukunft einhergehenden Preis- und Liquiditätsrisiken zur Absicherung mit Hilfe von Sicherungsgeschäften an der Warenterminbörse, der Bildung von Kooperationen oder dem Abschließen langfristiger Kontrakte.

Weindlmaier und Obersojer (2009) argumentierten bereits vor dem Quotenausstieg, dass die Notwendigkeit einer Mengensteuerung bzw. eines effizienteren Mengenmanagements für einen Teil der deutschen Molkereiwirtschaft zunehmen werde und die Milchbranche vor der Aufgabe stehe, die Vertragsbeziehungen zwischen Molkereien und Milchlieferanten zu modernisieren.

Schlecht et al. (2013) untersuchen die Geschäftsbeziehungen zwischen der Milchindustrie und Landwirten im Hinblick auf die Zeit nach dem Quotenende 2015. Die Einstellungen von Landwirten gegenüber Verträgen und ihre Präferenzen für Vertragsbeziehungseigenschaften nach der Quote wurden mit Hilfe einer Befragung von 161 Milcherzeugern betrachtet. Steffen et al. (2010) untersuchen, wie Landwirte das Preisbildungssystem von Molkereigenossenschaften bewerten. Die Ergebnisse unterstreichen den Einfluss von Betriebsgröße, Preisvertrauen und langfristiger Orientierung im Hinblick auf die jeweilige Bewertung der genossenschaftlichen Preisfindung.

Wocken und Spiller (2009) untersuchen mögliche Auswirkungen des Quotenausstiegs auf die Organisation der Branche und die Koordination der Geschäftsbeziehungen zwischen Milcherzeugern und Molkereien. Sie kommen zu dem Schluss, dass bei einem in sich stimmigen Vertragsdesign verschiedene Optionen realisierbar sind und es im Milchmarkt nicht zu einer „first best solution“ kommen wird. Sie mahnen zudem an, dass große Molkereien sich aufgrund des in bestimmten Aspekten nicht mehr zeitgemäßen genossenschaftlichen Bindungssystems in Zukunft vermehrt dem innovativen Design von Lieferverträgen widmen sollten.

Für den österreichischen Milchsektor untersuchen Schmid et al. (2011) die Perspektiven und Ziele von Milchproduzenten und milchverarbeitenden Unternehmen. Sie stellen fest, dass es bei Aspekten zukünftiger Milchlieferbeziehungen sowohl gleiche Zielsetzungen als auch Interessenkonflikte zwischen Milchverarbeitern und Milchproduzenten gibt. Doch auch innerhalb der Gruppe der Milchproduzenten lassen sich heterogene Interessen beobachten.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel des vorliegenden Beitrags, die Präferenzen deutscher Milcherzeuger und deutscher Molkereileitungen genauer zu bestimmen, weshalb norddeutsche Molkereivorstände (N=23) und zufällig ausgewählte Landwirte (N=782) in unterschiedlichen deutschen Regionen befragt wurden. Dabei sollten sowohl die bestehende Struktur der Lieferbeziehungen als auch die Wünsche der Beteiligten hinsichtlich zukünftiger Vertragsgestaltung, Kündigungsfristen und Risikomanagement bestimmt werden.

Empirische Methoden und Analyserahmen

Der gegenwärtige Stand der Lieferbeziehungen und die Erwartungen deutscher Landwirte an die zukünftige Gestaltung von Lieferbeziehungen wurden anhand einer Befragung ermittelt. Dabei bestand der erste Teil des Fragebogens aus einer Erhebung der aktuellen Lieferbeziehungen und der wirtschaftlichen Situation der Milchproduktion auf den befragten Betrieben. Der zweite Teil des Fragebogens beschäftigte sich mit Vertragslösungen, welche der jeweilige Betrieb wählen würde, wenn er die Möglichkeit dazu hätte. Hierbei kam die Methode der Auswahlexperimente (Discrete Choice Experimente) zur Anwendung. Die Befragung ist ausführlich in Hess, Petersen, und Dorfner (2017) beschrieben; der Fragebogen ist von den Autoren auf Anfrage erhältlich.

Die Befragung norddeutscher Molkerei-Vorstände erfolgte im August 2017 im Rahmen einer Masterarbeit (Sieh, 2017). Dabei wurden Mitglieder aus Vorstand oder Geschäftsführung norddeutscher Molkereien schriftlich befragt. Die Rücklaufquote ergab N=23 Antworten, was knapp einem Drittel aller deutschen

Molkereien entspricht. Durch die Befragung werden ca. 40% der deutschen Milchmenge abgebildet.

Die Auswertung beider Befragungen erfolgte sowohl deskriptiv als auch anhand verschiedener ökonomischer Modelle. Hier soll insbesondere auf die Bereitschaft von Landwirten, ein bestimmtes Vertragsselement in ihrer Lieferbeziehung zu akzeptieren, eingegangen werden: Landwirte haben im Hinblick auf die für ihren Betrieb optimalen Lieferbeziehungen eventuell Präferenzen, die je nach Opportunitätskosten, Lage des Betriebs, Größe sowie weiterer Faktoren variieren. Um die Heterogenität dieser Präferenzen ökonomisch abbilden zu können, existieren sowohl Ansätze, welche die Heterogenität jeweils diskreten Gruppen zuordnen (z.B. Latent Class Modelle) als auch Ansätze, welche die Heterogenität in Form stochastischer Verteilungen der zu schätzenden Modellparameter abbilden (z.B. „Mixed“ Modelle mit Random Intercept und Random Slope Koeffizienten). Im vorliegenden Fall wurden Mixed Logit Modelle ökonomisch geschätzt, um den Einfluss individueller Charakteristika der Befragten und ihrer Betriebe auf die Wahrscheinlichkeit zu ermitteln, mit der eine bestimmte Vertragsalternative gegenüber anderen Alternativen in den Auswahlexperimenten präferiert wurde.

Anhand der geschätzten Koeffizienten dieser Modelle können Willingness to Accept (WTA) Werte bestimmt werden. Diese ergeben sich aus dem Verhältnis der marginalen Effekte eines Vertragsattributs zum geschätzten marginalen Effekt des in einem Auswahlexperiment vertraglich offerierten Milchpreises. Die WTA wird somit in Cent Milchpreisäquivalent ausgedrückt und kann wie folgt berechnet werden:

$$WTA_{nj} x_{nj} = \left(\frac{\sum_{n=1}^N \frac{\Delta prob_{jn}}{\Delta x_{jn}}}{N} \right) / \left(\frac{\sum_{n=1}^N \frac{\Delta prob_{jn}}{\Delta p_{jn}}}{N} \right)$$

Die WTA dafür, dass ein Landwirt n bereit wäre, Vertragsattribut j in seiner Lieferbeziehung zu akzeptieren, kann somit als notwendiger Aufschlag zum Milchauszahlungspreises interpretiert werden. Dieser Aufschlag kann auch negativ ausfallen, wenn ein Vertragsattribut für den Landwirt so attraktiv ist, dass er hierfür sogar einen Abschlag des Milchpreises hinnehmen würde.

Ergebnisse

Ergebnisse der Befragung (für Einzelheiten siehe Hess, Petersen und Dorfner 2017 sowie Sieh, 2017) zeigen, dass im Nordwesten (Osten, Süden) Deutschlands ca. 27% (33%, 13%) der Befragten eindeutig bereit wären, auf einen Teil der Abnahmegarantie zu verzichten, wenn Sie dafür nicht mehr die gesamte Menge an die Molkerei andienen müssten. Dabei wünschen sich größere Milcherzeuger eher vertragliche Lösungen mit festgelegten Preisen und Mengen, während kleine

und mittlere Betriebe meist am typischen genossenschaftlichen Liefersystem, bestehend aus unbegrenzter Laufzeit, 24 Monaten Kündigungsfrist seitens des Landwirts und unbegrenzter Andienungspflicht/Abnahmegarantie, festhalten möchten. Milcherzeuger in ostdeutschen Bundesländern lehnen dieses Liefersystem jedoch deutlich häufiger ab als Befragte in Westdeutschland. Dabei fällt auf, dass unbefriedigende Kommunikation seitens der Molkerei und fehlendes Vertrauen in die Führung als Gründe für einen Molkereiwechsel etwa genauso häufig genannt werden wie ein unbefriedigender Auszahlungspreis. Landwirte, die sich für kürzere Kündigungsfristen bei ihrer Molkerei aussprachen, hatten im Mittel 21 Monate Kündigungsfrist, während die mittlere Kündigungsfrist bei denjenigen, die sich keine Änderung wünschen, 15 Monate betrug. Ca. 40% der Befragten wünschen sich zudem eine Absicherungsmöglichkeit am WTM und möchten, dass dies durch ihre Molkerei angeboten wird. Jedoch lehnen die befragten Molkereivorstände norddeutscher Privatmolkereien dies eindeutig ab, und nur 40% der befragten Genossenschaftsmolkereien möchten dies für ihre Mitglieder anbieten.

Es ist für das Management unserer Molkerei besser,
wenn unsere Lieferanten eine Erhöhung ihrer Ablieferungsmenge zuvor bei uns be-

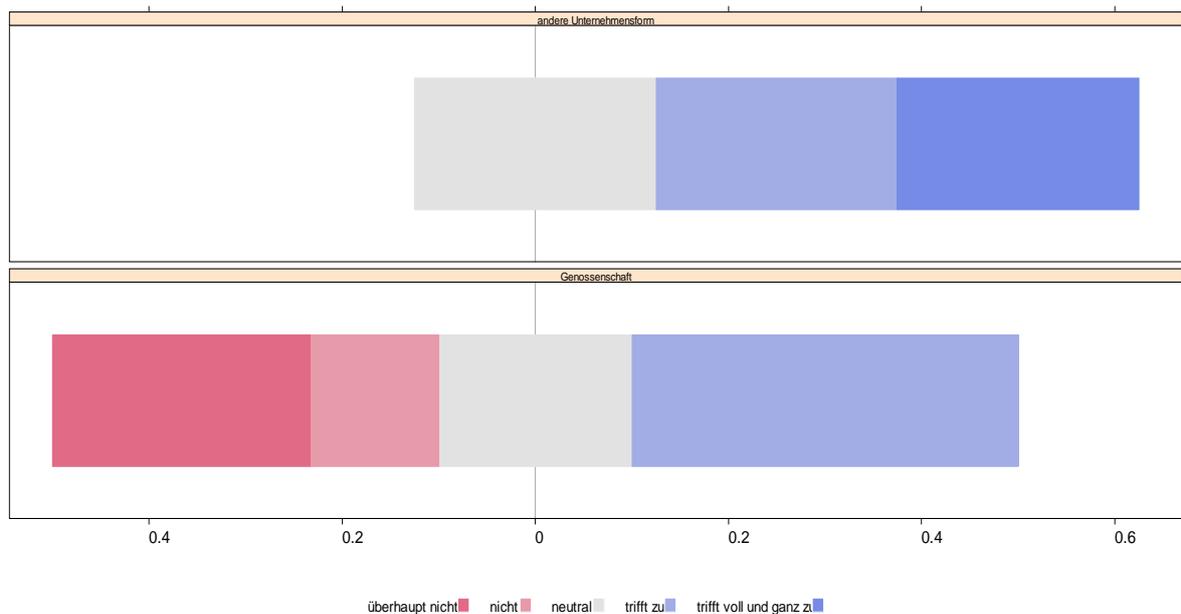


Abbildung 1: Befragung unter Molkereivorständen (N=23)

Abbildung 1 fasst die Antworten der befragten Molkereivorstände im Hinblick auf die Frage zusammen, ob es für ihre Molkerei besser sei, wenn ihre Lieferanten eine Erhöhung der Ablieferungsmenge zuvor bei Ihnen beantragen. Diese Frage zielte auf die möglicherweise negativen Auswirkungen der Abnahmegarantie auf die Möglichkeiten einer Molkerei zur präzisen Mengenplanung ab. Die Antworten unterscheiden sich deutlich zwischen genossenschaftlich organisierten Molkereien und anderen, insbesondere privaten Molkereien. Es fällt auf, dass eine

verbesserte Möglichkeit zur Mengensteuerung von nicht genossenschaftlich organisierten Molkereien fast durchgehend positiv beurteilt wird. Die genossenschaftlich organisierten Molkereien hingegen weisen einen hohen Anteil von Antworten auf, die in der Voranmeldung größerer Mengensprünge seitens der Lieferanten keinen Vorteil erkennen.

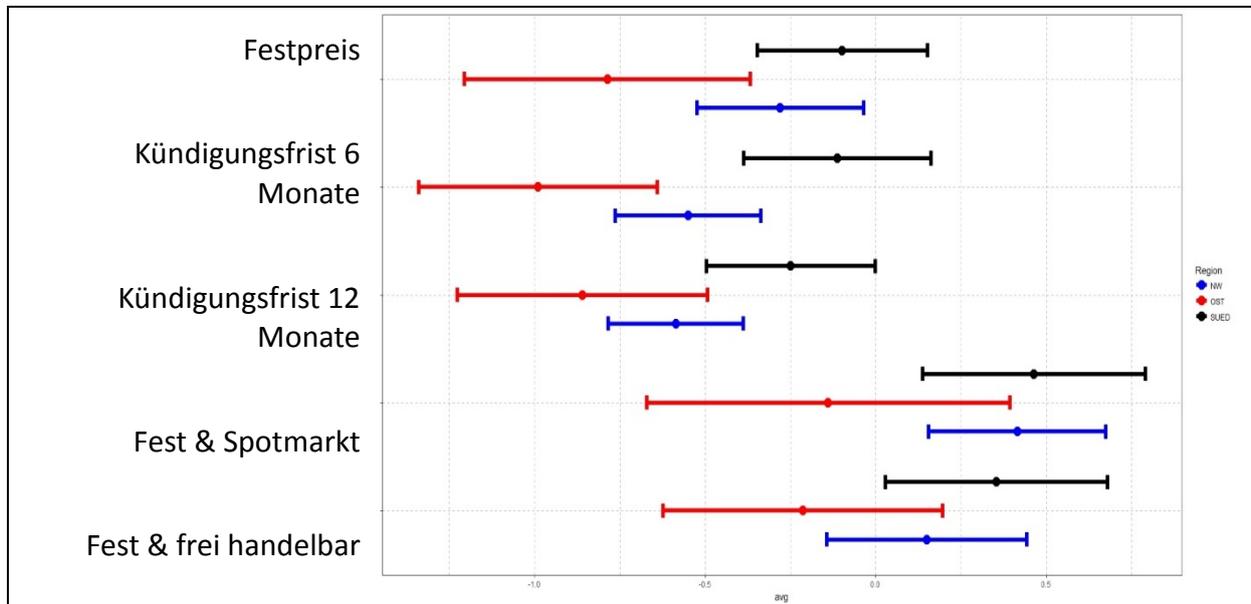


Abbildung 2: Geschätzte WTA von Landwirten und Standardabweichungen für unterschiedliche Vertragselemente (N=782)

Abbildung 2 fasst geschätzte WTA-Werte aus der Befragung mit Landwirten zusammen

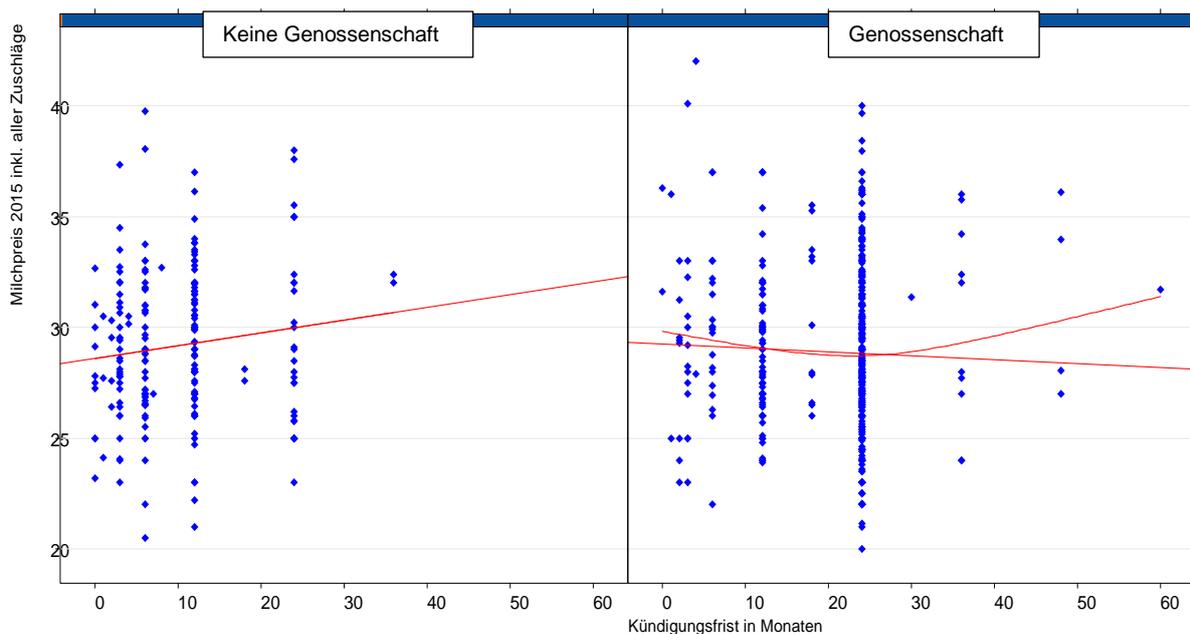


Abbildung 3: Kündigungsfristen von Landwirten und Milchauszahlung

Es fällt auf, dass insbesondere in den östlichen Bundesländern Milcherzeuger bereit wären, für feste Mengenangaben in ihren Lieferverträgen sogar Preisabschläge hinzunehmen.

In Süddeutschland und teilweise auch in Nordwestdeutschland ist jedoch das Gegenteil der Fall. Hier müssten Landwirte durch Preisaufschläge für einen Verlust der Abnahmegarantie entschädigt werden. Ein wesentlich einheitlicheres Bild zeigt sich in Abbildung 2 jedoch im Hinblick auf die Kündigungsfristen, zu welchen Landwirte ihre Molkerei verlassen können. Hier wünschen sich in allen Regionen eine Mehrzahl von Landwirten kürzere Kündigungsfristen als die bisher weithin üblichen 24 Monate.

Abbildung 3 zeigt das Verhältnis zwischen Kündigungsfristen und dem von den Landwirten jeweils im Jahr 2015 erhaltenen durchschnittlichen Milchpreis inklusive aller Zuschläge. Es fällt auf, dass die nicht genossenschaftlichen Molkereien einen ansteigenden Trend erkennen lassen, welcher als Milchpreis-Premium für diejenigen interpretiert werden kann, die sich länger an eine Molkerei binden. Bei Genossenschaften zeigt sich dieser Effekt nicht. Jedoch ist auch kein eindeutig negativer Trend identifizierbar, da die typische genossenschaftliche Lieferbeziehung 24 Monate Kündigungsfrist vorsieht und in diesem Bereich Milchauszahlungspreise eine große Varianz aufweisen.

Diskussion und Fazit: Sind die Milch-Lieferbeziehungen in Deutschland noch zeitgemäß?

Fortschreitender Strukturwandel führt zu einer Konzentration der Milch in Großbetrieben, und diese wünschen sich Verträge mit fester Menge, Preis und Laufzeit, da Sie sich in einer relativ starken Position sehen und durch mehr Verhandlungsmöglichkeiten und mehr Wettbewerb profitieren möchten. Viele kleinere und mittlere Betriebe wünschen die Beibehaltung der Abnahmegarantie ohne Laufzeitbegrenzung, da dies Sicherheit und geringen Aufwand bedeutet.

Kündigungsfristen sind bei Genossenschaften im Mittel am längsten, was teilweise auch mit der für die Genossenschaft vorteilhaften Kontinuität des eingelegten Kapitals zusammenhängt. Verkürzungen der Kündigungsfristen bedeuten zudem nicht unbedingt für jeden Landwirt einen erleichterten Molkereiwechsel, da am jeweiligen Standort auch aufnahmewillige Molkereien vorhanden sein müssen.

Sind die Milch Lieferbeziehungen Deutschland also noch zeitgemäß? Diese Frage wird gemäß der hier vorgestellten Untersuchungen durch unterschiedliche Betriebstypen unterschiedlich beantwortet:

Große und sehr große Milcherzeuger finden die Lieferbeziehungen tendenziell nicht mehr zeitgemäß und könnten auf kurz oder lang ihre bisherigen Molkereien verlassen wollen.

Wachstumswillige Milcherzeuger könnten in der Abnahmegarantie jedoch einen Vorteil sehen und möglicherweise hierdurch zum „Trittbrettfahren“ ermuntert werden.

Kleine und mittlere Milcherzeuger betrachten den status quo der Lieferbeziehungen ganz überwiegend als zeitgemäß, da die Reduzierung der Transaktionskosten bei der Milchabholung und Vermarktung ihnen insgesamt sehr entgegenkommt.

Kurz: Im Hinblick auf die Gestaltung von Lieferbeziehungen für ein besseres Mengen-Management von Landwirten und Molkereien wären Vertragslösungen mit fester Mengenbindung sinnvoll. Die ungleiche Verteilung von Milchaufkommen und Stimmenanteilen in Genossenschaften dürfte jedoch dazu führen, dass an der Andienungsverpflichtung mit Abnahmegarantie vielerorts festgehalten werden wird. Die lokalen Gegebenheiten und Präferenzen von Landwirten und Molkereileitungen sind insgesamt sehr heterogen, sodass allgemeine staatliche Eingriffe diesen Strukturen kaum gerecht werden können. Die Zukunft liegt vielmehr in einer innovativen Weiterentwicklung der Beziehungen auf Ebene der beteiligten Marktpartner, beispielsweise anhand folgender Grundsätze:

1. Zulassen von Liefer-Heterogenität auf Molkereiebene.
2. Milchpreis-Segmente gemäß *Risikograd* oder gemäß *Verwertungsstufe* einführen.
3. Honorierung langer Kündigungsfristen oder Verkürzung der Kündigungsfristen auf Molkereiebene.

Literatur

- BUNDESKARTELLAMT (2012): Sektoruntersuchung Milch, Abschlussbericht gemäß § 32e GWB - Januar 2012. Bonn.
- BUNDESKARTELLAMT (2017): Sachstand im Verfahren zu Lieferbedingungen für Rohmilch, 13.03.2017, Bonn.
- BUNDESVERBAND DEUTSCHER MILCHVIEHHALTER (2016): Kurz-Faktencheck: Überblick über vorgeschlagene Kriseninstrumente, ihre Potenziale und Grenzen, Feising http://bdm-verband.org/html/dms/dateien/Dokumente_PDF/BDM_Faktencheck_Kriseninstrumente.pdf
- DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2016): Lieferbeziehungen zwischen Milcherzeugern und Molkereien gestalten, Berlin, www.rlv.de/fileadmin/user_upload/DBV-Position_Lieferbeziehungen.pdf
- HESS, S., PETERSEN, J. und DORFNER, G. (2017): Gegenwart und Zukunft der Milch Lieferbeziehungen aus Sicht Deutscher Landwirte: Ergebnisse einer Befragung. In: *Agra-Europe* 58 (2017), Nr. 13.
- MILCH BOARD (2015): Roadmap: Milch&Markt - Fahrplan für die Zeit nach der Quote, Göttingen.
- MILCHINDUSTRIEVERBAND (2015): Lage der Milchbauern braucht besonnenes Handeln der Politik, www.milchindustrie.de/aktuelles/pressemitteilungen/lageder-milchbauern-braucht-besonnenes-handeln-der-politik/
- OFFERMANN, F., EFKEN, J., ELLBEL, R., HANSEN, H., KLEPPER, R. und WEBER, S. (2017) Ausgewählte Instrumente zum Risikomanagement in der Landwirtschaft: Systematische Zusammenstellung und Bewertung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 52 p, Thünen Working Paper 72.
- SCHAPER, C., WOCKEN, C., ABELN, K., LASSEN, B., SCHIERENBECK, S., SPILLER, A. und THEUVSEN, L. (2008): Risikomanagement in Milchviehbetrieben: Eine empirische Analyse vor dem Hintergrund der sich ändernden EU-Milchmarktpolitik. In: *Schriftenreihe der Landwirtschaftlichen Rentenbank*, Bd. 23, Frankfurt a. Main 2008, S. 135-184.
- SCHLECHT, S., STEFFEN, N. und SPILLER, A. (2013): Vertragsmanagement nach Auslaufen der Milchquotenregelung. *German Journal of Agricultural Economics*, 62 (1), 1-17.
- SIEH, I. (2017) Die Zukunft der Milch-Lieferbeziehungen aus Sicht deutscher Molkereien. Masterarbeit, Institut für Agrarökonomie, CAU Kiel.

- STEFFEN, N., SPILLER, A. und SCHLECHT, S. (2010): Preisbildung im genossenschaftlichen System am Beispiel der Milchwirtschaft. Zeitschrift für das gesamte Genossenschaftswesen, 60(3), 206-220.
- WEINDLMAIER, H. und OBERSOJER, T. (2009): Optionen für die einzelbetriebliche Mengensteuerung am Milchmarkt. In: AGRA-EUROPE 46/09 vom 09. November 2009, Dokumentation 1-11.
- WOCKEN, C. und SPILLER, A. (2009): Gestaltung von Milchlieferverträgen: Strategien für die Molkereiwirtschaft nach Auslaufen der Quote, in: Theuvsen, L. und Schaper C. (Hrsg.) Milchwirtschaft ohne Quote, Eul Verlag Lohmar, 111-132, Köln.

Geschlechterlücke in der Landwirtschaft Tansanias – Sind Männer wirklich effizienter als Frauen?

Johanna Scholz, Awudu Abdulai

Institut für Ernährungswirtschaft und Verbrauchslehre

Einleitung

Landwirtschaft in Sub-Sahara-Afrika ist stark geprägt von regionalen geschlechterspezifischen Aufgaben. So gehört Land, wenn in Privateigentum, meist Männern allein, gegebenenfalls Paaren, aber selten Frauen allein. Diese Frauen wiederum sind meist verwitwet oder geschieden. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Entscheidungsgewalt darüber, wie das Feld bewirtschaftet wird. Dabei ist in vielen Regionen zu beobachten, dass die Felder der Frauen weniger Erlöse pro Fläche erwirtschaften, deutlich kleiner sind und weniger Zugang zu männlicher Arbeitskraft haben. Schätzungen der FAO gehen davon aus, dass wenn Frauen dasselbe Maß an Produktionsfaktoren zur Verfügung stünde wie Männern, diese eine Ertragssteigerung von 20-30 % erzielen könnten. Dadurch könnte zum einen der gesamte landwirtschaftliche Ertrag in den Entwicklungsländern um 1,5-4 % gesteigert und somit zum Kampf gegen Hunger beigetragen werden (FAO, 2011, p. 5). Zum anderen könnte es die Frauen besserstellen und durch deren zentrale Rolle hinsichtlich Kindergesundheit, Ernährung und Bildung weitere entwicklungspolitische Ziele unterstützen (Doss, 2018).

Der Thematik der Geschlechtergleichheit widmet sich auch das fünfte der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der Vereinten Nationen und nennt u.a. gleiche Zugangsrechte zu Besitz und Kontrolle von Land und Krediten, beides wichtige Produktionsfaktoren in der Landwirtschaft (UN, 2015). Doch in wieweit sind diese oder andere unterschiedliche Faktorausstattungen die treibenden Kräfte hinter Produktivitätslücken zwischen Landwirtinnen und Landwirten in Sub-Sahara-Afrika? In wieweit spielen Zeitlimitation oder verschiedene Output-Effizienzen eine Rolle? Und sind Männer der richtige Maßstab um Produktivitäts- und Effizienzlücken zu bewerten? Anhand von Daten Tansanias, die im Rahmen der Living Standard Measurement Study – Integrated Surveys on Agriculture (LSMS-ISA) mit Unterstützung der Weltbank in den Jahren 2010-2011 und 2012-2013 erhoben wurden, werden diese Fragen

bearbeitet. Die Oaxaca-Blinder Zerlegung wird angewandt, um die Einflüsse der unterschiedlichen Ausstattung und Output-Effizienzen zu analysieren.

Hintergrund

Tansania gehört mit einem Bruttoinlandsprodukt (BIP) von US\$ 47 Mrd. und 55 Mio. Einwohner*innen im Jahre 2016 zu den sogenannten Ländern mit geringem Einkommen. Es ist stark ländlich geprägt, 31,5 % der BIPs wurden im Agrarsektor erwirtschaftet und 2011 lebte noch 28,2 % der Bevölkerung unterhalb der nationalen Armutsgrenze. (World Bank, 2018)

Die LSMS-ISA Daten enthalten personen- und haushaltsbezogene Informationen. Außerdem wurden landwirtschaftliche Daten wie Inputs und Outputs sowie Verantwortlichkeiten je Feld erhoben. Somit können auch Felder, die von Frauen gemanagt werden, jedoch zu Haushalten mit männlichem Familienvorstand gehören, und andersrum, ebenso wie gemeinschaftlich gemanagte Felder identifiziert und berücksichtigt werden. Von den 3924 befragten Haushalten, haben 2550 in beiden Zeiträumen Landwirtschaft betrieben und alle relevanten Fragen beantwortet, wobei einige mehrere Felder kultivierten, sodass die finale Stichprobe 8322 Beobachtungen umfasst. Hierbei sind 1850 Felder ausschließlich von Frauen, 2114 ausschließlich von Männern und 4358 von gemischtgeschlechtlichen Teams gemanagt. Dabei ist v.a. nennenswert, dass über 50 % der Felder von gemischtgeschlechtlichen Teams gemanagt werden und diese am produktivsten sind. Außerdem bewirtschaften Frauen im Durchschnitt 0,8 ha, somit deutlich kleinere Felder, haben deutlich besseren Zugang zu weiblicher und schlechteren zu männlicher Arbeitskraft, während Männer mit durchschnittlich 1,5 ha deutlich größere Felder managen und signifikant weniger weibliche Familienarbeit nutzen als die gemischtgeschlechtlichen Teams. Schließlich ist auch zu erkennen, dass die Lebenssituationen zwischen den drei Kategorien sich deutlich unterscheiden, indem über 96 % der gemeinsam gemanagten Felder von verheirateten Menschen bewirtschaftet werden, bei den ausschließlich männlichen Managern sind es mit über 86 % immer noch die meisten, wobei bei den Frauen die verwitweten, geschiedenen und getrennten Frauen mit 70 % der Felder den Großteil ausmachen. Auch hinsichtlich der am Vortag der Befragung aufgebrauchten Zeit zur der Beschaffung von Feuerholz und Wasser, lassen sich klare Unterschiede, zum Nachteil der Frauen feststellen.

Methodik und Ergebnisse

Zunächst wird eine naive OLS Regression mit dem logarithmierten Ertrag pro Fläche als abhängige Variable Y und ausschließlich die Gruppenzugehörigkeit G als exogene Variablen berechnet. Dabei zeigt die Gruppe der Männer G_{σ} eine signifikant höhere Produktivität als die der Frauen. Anders als vorherige Studien hingegen wird die Gruppe der gemischtgeschlechtlichen Teams als eigene Gruppe $G_{\sigma\varphi}$ berücksichtigt, welche die höchste Produktivität aufzeigt (Aguilar et al., 2015; Kilic et al., 2015; Oseni et al., 2015). Slavchevska kontrolliert in ihrer Studie über Tansania mit dem LSMS-ISA Datensatz aus den Jahren 2008-2009 und 2010-2011 zwar für mehrere Manager*innen, jedoch unabhängig deren Geschlechts, wobei das alleinige Management einer Frau einen signifikanten negativen Einfluss auf die Produktivität aufweist - auch nach Berücksichtigung weiterer Faktoren X (2015).

$$Y = X\beta + G_{\sigma}\gamma_{\sigma} + G_{\sigma\varphi}\gamma_{\sigma\varphi} + \varepsilon \quad (1)$$

Dies ist bei der Analyse der Daten aus 2010-2011 und 2012-2013, wie in den Spalten 2-3 der Tabelle 1 zu sehen, anders: Hier verlieren beide Gruppen-Dummies ihre Signifikanz nachdem alle anderen exogenen Variablen einbezogen werden. Interessant hierbei sind v.a. die statistisch und ökonomisch signifikante negative Beziehung zwischen Produktivität und Fläche, wie auch bzgl. des Alters der Landwirt*innen oder des Zeitaufwands zur Beschaffung von Wasser und Feuerholz. Zugang zu Krediten wirkt sich signifikant positiv auf die Flächenproduktivität aus, ebenso wie chemische Inputs, Arbeitskraft und Tierhaltung.

Bei der Analyse, ob Unterschiede in der Ausstattung mit Produktionsfaktoren oder strukturelle Vor- bzw. Nachteile die treibenden Kräfte hinter der vermuteten Geschlechterlücke sind, wird nach dem Vorschlag Quisumbing (1996) die Oaxaca-Blinder Zerlegung angewandt. Dabei werden nach Kilic et al. der Durchschnitt der gesamten Stichprobe als Maßstab gesetzt (2015). Die Ergebnisse unterscheiden sich stark je nach Studie (Aguilar et al., 2015; Kilic et al., 2015; Oseni et al., 2015; Slavchevska, 2015). Die Grundidee ist es, die Produktivitätsunterschiede zweier Gruppen nach Gleichung (1) so umzuformen, dass die Differenz durch die Summe des gewichteten Unterschieds in Ausstattung und Unterschiede der jeweiligen Koeffizienten zum Maßstab β^* erklärt wird (Gleichung (2)). Letzteres wird auch männlicher struktureller Vorteil und weiblicher struktureller Nachteil genannt (Kilic et al., 2015).

$$Y_{\sigma} - Y_{\varphi} = (X_{\sigma} - X_{\varphi})\beta^* + X_{\sigma}(\beta_{\sigma} - \beta^*) + X_{\varphi}(\beta^* - \beta_{\varphi}) \quad (2)$$

Hierbei ist zu beachten, dass die Wahl des Maßstabs entscheidend ist. Um vergleichbare Aussagen treffen zu können, wäre ein einheitlicher Maßstab von Vorteil.

Tabelle 1: Regressionsergebnisse (OLS) der gesamten Stichprobe und Oaxaca-Blinder Zerlegung ♀ gegenüber ♂ mit gemischt geschlechtlichen Teams als Maßstab, abhängige Variable log Ertrag/Fläche [TZS/ac]

Variablen	OLS Naiv	OSL Alle	Ausstattung	♂ Vorteil	♀ Nachteil
Männer	0.0849**	0.0115			
Gemischtgeschl. Teams	0.107***	0.0401			
Mehrere Manager*		-0.0184	0	0.0067**	0.0129
Log Fläche [ac]		-0.434***	-0.2185***	0.0005	-0.0096**
# Feldfrüchte		0.359***	-0.0035	-0.0399	0.0550
Mischkultur		-0.217***	0.0188***	0.0069	-0.0761**
Entfernung Haus [km]		-0.0002	-0.0007	-0.0014	-0.0048
Entfernung Straße [km]		0.0019	-0.0001	0.0147	-0.0042
Entfernung Markt [km]		0.0016**	0.0064***	-0.0345	0.0082
Verbessertes Saatgut		0.172***	0.0054**	0.0142	0.0071
Bewässert		0.438***	0.0015	0.0059	-0.0126***
brach in letzten 5 Jahren		0.0274	-9.3E-06	0.0019	0.0068
Mittlere Bodenqualität		-0.187***	0.0052	0.0668***	-0.0503*
Schlechte Bodenqualität		-0.374***	0.0031	0.0091	-0.0076
Landtitel		-0.0252	-0.0001	0.0053	0.0092
Kein org. Dünger		0.286**	-0.0053	0.1315	0.0785
log org. Dünger [kg/ac]		0.0632***	0.0045	0.0309	0.0023
Kein inorg. Dünger		0.176	-0.0043	0.1258	0.2136
log inorg. Dünger [kg/ac]		0.174***	0.0125*	-0.0076	0.0171
Keine Pestizide/Herb.		-0.317***	0.0260***	0.2532	-0.2660
Log Pest./Herb. [ml/ac]		-0.0057	-0.0080	0.0260	-0.0152
Zugang zu Kredit		0.554***	0.0064***	0.0098*	0.0005
Keine ♂ Familienarbeit		0.0956	-0.1304**	0.0038	0.1725*
log ♂ Familienarbeit [Tage/ac]		0.0982***	0.3178***	-0.0352	0.1938***
Keine ♀ Familienarbeit		0.345***	-0.0138	0.0707*	-0.0114***
log ♀ Familienarbeit [Tage/ac]		0.120***	-0.0643*	0.0295	-0.5766***
Keine Kinder-Familienarbeit		-0.0917*	-0.0073**	0.1672	-0.4327***
log Kinder-Familienarbeit [Tage/ac]		-0.0124	0.0081*	0.0116	-0.0537***

Keine ♂ Angestellten		-0.202***	0.0099**	-0.0559	0.0341
log ♂ Angestellte [Tage/ac]		0.0778***	0.0030	-0.0096	0.0264
Keine ♀ Angestellten		-0.109**	0.0005	-0.0177	0.0948
log ♀ Angestellte [Tage/ac]		0.0876***	-0.0109**	-0.0257*	0.0398**
Keine Kinder angestellt		-0.174*	-0.0022	0.1716	0.2091
log angestellte Kinder [Tage/ac]		-0.0417	-0.0022	-0.0022	0.0126**
Landwirt. Beratung		0.0985***	0.0036	0.0129	-0.0196**
Vermögen		0.0586***	-0.0031	0.0035	-0.0134
# ♀ (15-64 Jahre alt)		0.0357***	-0.0020	-0.0621	0.0322
# ♂ (15-64 Jahre alt)		0.0146	-0.0136	0.0304	-0.0887***
# Kinder (6-14 Jahre)		0.00679	0.0044	-0.0187	0.0471
# Kinder (<6 Jahre)		0.00216	-0.0029	0.0121	-0.0264
Alter Manager*in		-0.0071***	0.0477***	-0.0560	-0.0890
Manager*in single		-0.0983	0.0002	0.0003	-0.0003
Manager*in getrennt		-0.0418	0.0401	-0.0077	-0.0348
Manager*in Grundschul		0.0896***	0.0191**	0.0020	0.0024
Manager*in Sekundar		0.0336	0.0046	-0.0176	0.0020
Manager*in nicht-agr. Arbeit		-0.0252	-0.0008	0.0182	0.0123
Verantwortung # Vieh		0.0177***	0.0367***	-0.0233	-0.0012
Feuerholz, Wasser (Std)		-0.0304**	0.0182**	0.0001	-0.0217
Panel 2010		-0.288***	0.0040	-0.0079	0.0188
Konstante	11.22***	10.92***	0.190***	-1.272**	-0.114*
N	8322	8322	3964	3964	3964
	$R^2 =$ 0.0011 Adj. $R^2 =$ 0.0008	$R^2 =$ 0.4708 Adj. $R^2 =$ 0.4656			

Quelle: eigene Berechnungen, Signifikanzniveaus *** $p < 1\%$, ** $p < 5\%$, * $p < 10\%$; außerdem kontrolliert für Regionen und Ackerfrüchte Mais, Reis, Sorghum, Maniok, Bohnen, Baumwolle

Wird jedoch der Durchschnitt der gesamten Stichprobe, also die aus (1) resultierten Schätzungen verwendet, so ist dies abhängig von der Zusammensetzung der Stichprobe. Zur Verdeutlichung zeigt Tabelle 2 die zusammengefassten Ergebnisse dreier Szenarien: Zuerst Managerinnen im Vergleich zu alle anderen mit dem Durchschnitt aller als Maßstab, wie bei den meisten Studien üblich. Als zweites Frauen gegenüber Männern mit dem Durchschnitt beider Gruppen als Maßstab, ohne die Beobachtungen der gemischtgeschlechtlichen Teams. Und zuletzt Frauen verglichen

mit Männern mit den gemischtgeschlechtlichen Teams und somit der am produktivsten Gruppe als Maßstab. Mit letzterem könnten zum einen argumentiert werden, dass es am ehesten einem nichtdiskriminierenden Koeffizienten nahekommt (Jann, 2008). Zum anderen kann im Vergleich zur produktivsten Gruppe eine vereinfachte Aussage über Effizienzen getroffen werden. Aus diesem Grund ist in den Spalten 4-6 der Tabelle 1 eine detaillierte Auflistung der Einflussfaktoren auf die drei Teile dieser letzten Oaxaca-Blinder Zerlegung zu finden.

Tabelle 2: Oaxaca-Blinder Zerlegung, verschiedene Szenarien

	Ausstattung	♂ Vorteil	♀ Nachteil
♀ vs. ♂ & ♂♀, β*= Durchschnitt aller			
Differenz: 0,0997	0.0829**	-1,39e-15	0,0168
♀ vs. ♂, β*= Durchschnitt ♀ & ♂			
Differenz: 00849**	0,0345	2,78e-16	0,0504
♀ vs. ♂, β*= ♂♀			
Differenz: 00849**	0.1901***	0,0087	-0,1139*

Zentral dabei ist, dass sich je nach Maßstab natürlich die Schlussfolgerungen unterscheiden, wobei im Falle eines sehr produktiven Maßstabs β^* mehr Gewicht auf den Ausstattung-Term liegt. Angenommen die gemischtgeschlechtlichen Teams gelten als Maßstab, bemisst die Produktivitätslücke zwischen Feldern von Frauen und von Männern etwa 1 % und ist signifikant zu 5 %. Dabei treibt die unterschiedliche Ausstattung die Lücke, während der strukturelle Term der Frauen, der Lücke entgegenarbeitet, wenn auch nur signifikant zu 10 %. Die durchschnittlich kleineren Flächen der Frauen und ihr besserer Zugang zu weiblicher Arbeitskraft kompensiert dabei noch die Lücke, während v.a. der geringere Zugang zu männlicher Familienarbeit, ihr höheres Alter, geringere Schulbildung, Verantwortung für weniger Vieh und größerer Zeitlimitation die geringere Produktivität erklären. Generell schlechtere Bodenqualität oder andere Wohlstandsniveaus scheinen nicht der Grund zu sein. Hinsichtlich Unterschiede in den Koeffizienten scheinen Frauen im Gegensatz zu gemischtgeschlechtlichen Teams effizienter weibliche Familienarbeit einzusetzen und größeren Vorteil aus männlichen Haushaltsmitgliedern zu ziehen, während sie die männliche Arbeitskraft auf dem Feld weniger effizient einsetzen.

Fazit

Bei der Analyse der Produktivitätsunterschiede zwischen Männern und Frauen in Sub-Sahara Afrika ist zunächst einmal zu beachten, dass die meisten Felder gemeinsam gemanagt werden. Die Daten aus Tansania empfehlen eine separate Betrachtung der gemischtgeschlechtlichen Teams, da diese am produktivsten sind und auch in Zugang zu Produktionsmitteln wie Arbeit strukturell unterschiedlich zu sein scheinen als die Gruppe der Frauen oder der Männer. Die Produktivitätslücke zwischen den letzteren zwei Gruppen beträgt hingegen nur etwa 1 % nach Berücksichtigung weiterer Faktoren. Dabei scheinen Tierhaltung und hauswirtschaftliche Zeitlimitation eine Rolle zu spielen. Bezüglich der Oaxaca-Zerlegung, ist es entscheidend welcher Maßstab angewandt wird. Dies könnte, neben regionalen Unterschieden, die verschiedenen Ergebnisse vorheriger Studien erklären. Die Aussage der FAO, dass Frauen lediglich besseren Zugang zu Produktionsfaktoren brauchen, um die Lücke zu schließen, scheint jedoch fraglich, da z.B. der Einfluss von Familienarbeit auf die Produktivität genderspezifisch zu sein scheint. Dass Managerinnen weniger effizient männliche, dafür aber effizienter weibliche Familienarbeit einsetzen, kann auch soziale Normen widerspiegeln. Die kleineren Flächen der Frauen kompensieren zudem die Produktivitätslücke. Ein erleichterter Zugang für Frauen zu Krediten und verbessertem Saatgut jedoch wäre förderlich.

Literatur

- Aguilar, A., Carranza, E., Goldstein, M., Kilic, T., Oseni, G., 2015. Decomposition of gender differentials in agricultural productivity in Ethiopia. *Agric. Econ.* 46, 311–334.
<https://doi.org/10.1111/agec.12167>
- Doss, C.R., 2018. Women and agricultural productivity: Reframing the Issues. *Dev. Policy Rev.* 36, 35–50. <https://doi.org/10.1111/dpr.12243>
- FAO, 2011. The State of Food and Agriculture 2010-2011. Women and agriculture: Closing the gender gap for development. Rome.
- Jann, B., 2008. The Blinder-Oaxaca decomposition for linear regression models. *Stata J.* 8, 453–479.
- Kilic, T., Palacios-López, A., Goldstein, M., 2015. Caught in a Productivity Trap: A Distributional Perspective on Gender Differences in Malawian Agriculture. *World Dev.* 70, 416–463.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.06.017>
- Oseni, G., Corral, P., Goldstein, M., Winters, P., 2015. Explaining gender differentials in agricultural production in Nigeria. *Agric. Econ.* 46, 285–310.
<https://doi.org/10.1111/agec.12166>
- Quisumbing, A.R., 1996. Male-female differences in agricultural productivity: Methodological issues and empirical evidence. *World Dev.* 24, 1579–1595.
[https://doi.org/10.1016/0305-750X\(96\)00059-9](https://doi.org/10.1016/0305-750X(96)00059-9)
- Slavchevska, V., 2015. Gender differences in agricultural productivity: the case of Tanzania. *Agric. Econ.* 46, 335–355. <https://doi.org/10.1111/agec.12168>
- UN, 2015. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015 Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.
- World Bank, 2018. Tanzania | Data [WWW Document]. URL <https://data.worldbank.org/country/tanzania> (accessed 2.13.18).

Digitalisierung in der Landwirtschaft – Mehr als nur ein Schlagwort?

Karsten Borchard

MultiMediaLabor und Institut für Agrarökonomie

Einleitung und historischer Überblick

Die ITK¹ „Digitalisierung“ hat schon lange in der Landwirtschaft Einzug gehalten. Schon in den 1990er Jahren wurden in der Außenwirtschaft Precision-Farming-Systeme an die Landwirtschaft verkauft. In der Innenwirtschaft hielten in dieser Zeit automatische Fütterungssysteme und die ersten Melkroboter Einzug in die Betriebe. Hier wurden das erste Mal „bezahlbare“ Computersysteme (PCs) mit elektronischen Geräten gekoppelt. Die PCs konnten die Steuerung und Regelung dieser Systeme im meist absätzigen Verfahren übernehmen. Sehr oft mussten diese Daten noch über mobile Datenträger (Disketten) oder andere Speichermedien ausgetauscht werden.

Diese Systeme entwickelten sich mithilfe immer billiger werdender Hardware weiter. Auch die ITK, respektive die Netzwerktechnologien entwickelten sich rasant. Bekamen einige fortschrittliche Landwirte ihre Wetterinformationen und Spritzempfehlungen per BTX, nutzten andere weiter das Fax als Informationsquelle. Daten wurden per Diskette oder durch die ersten USB-Sticks ausgetauscht.

Mit der Einführung der DSL-Technologie 1999 und der vorhergehenden Freischaltung des WWW 1993 veränderte sich die ITK-Landschaft noch einmal deutlich. In der Landwirtschaft war es nun relativ einfach möglich, Daten über das Internet auszutauschen.

¹ Informations- und Telekommunikationstechnologie



Abbildung 1: Wortwolke „Digitalisierung“

Was jedoch fehlte, waren Standards, um auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Daten zwischen Maschinen und Geräten (Innen- und Außenwirtschaft) auszutauschen.

Oft waren aufwendige Anpassungen in der Software notwendig, um Maschinen verschiedener Hersteller miteinander „reden“ zu lassen. Hier halfen ISOBUS und ISOAgriNet. Der Austausch mit den verschiedenen externen Akteuren (Händler, Behörden, Zuchtorganisationen, etc.) gestaltete sich ebenfalls schwierig. Die Lösung war AgroXML, eine Datenbeschreibungssprache.

Fragestellung

Diese und weitere Entwicklungen im Bereich ITK, z.B. neue Cloud- und Webanwendungen, aber auch WLAN, Bluetooth und Smartphones führten zu einer rasanten Umgestaltung der Soft- und Hardwarelandschaft, dem man seit circa 2015 mit dem Buzzwort² „**Digitalisierung (in der Landwirtschaft)**“ begegnet. Der Autor grenzt diesen Begriff ein, präsentiert Beispiele aus Praxis und Forschung und versucht zukünftige Trends aufzuzeigen. In Abbildung 1 finden sich verschiedene Begriffe aus dem Bereich des Elektronikeinsatzes und der Digitalisierung. Wie kann man nun die verschiedenen Stufen der Digitalisierung unterscheiden?

² Engl. für „Schlagwort“

Nehmen wir das Beispiel Außenwirtschaft, man kann fünf, bzw. sechs verschiedene Stufen unterscheiden (s. Abbildung 2):

1. Produkt 
2. Intelligentes Produkt 
3. Intelligentes, vernetztes Produkt 
4. Precision Farming 
5. Smart Farming 
 - (teil-) autonom
 - Optimierungssysteme

©BMELV 2016, modifiziert

Abbildung 2: Stufen der Digitalisierung

Die ersten drei Stufen sind hinlänglich bekannt. In Stufe eins haben wir nur die entsprechende Landmaschine. In Stufe zwei ist die Landmaschine mit einem Bordrechner ausgestattet. In Stufe drei ist der Bordrechner über ein Netzwerk mit einem externen Rechner verbunden. Hier findet Datenaustausch statt.

Stufe vier (Precision Farming) arbeitet informationsbasiert. Die auf der Landmaschine gewonnenen Daten (z.B. Ertragsdaten) werden in das Farm-Management-Informationssystem übertragen und dienen dem Landwirt zusammen mit weiteren Informationen zur Entscheidungsunterstützung. Hiermit lassen sich zum Beispiel Applikationskarten zur Düngung und zum Pflanzenschutz erstellen. Diese werden dann auf die entsprechenden Landmaschinen per Netzwerk übertragen.

Die fünfte Stufe der Digitalisierung (Smart Farming) arbeitet wissensbasiert. Die gewonnenen Informationen werden automatisch verarbeitet, das System trifft (teil-) autonome Entscheidungen. Der Landwirt greift nur noch korrigierend und überwachend ein.

In der sechsten Stufe (Artificial Farming) findet das Lernen und die Entscheidung vollautomatisch und vollautonom statt. Hier handelt es sich noch um Zukunftsszenarien, die aber in anderen Bereichen zumindest schon ansatzweise umgesetzt sind.

Betrachtet man Abbildung 3, fällt auf, dass viele der Funktionen und Anforder-

rungen, die an neue Maschinen gestellt werden, schon ganz oder teilweise realisiert sind.



Horstmann, Fa. Krone 2016, modifiziert

Abbildung 3: Funktionen und Anforderungen an neue Maschinen

Bei der Umsetzung und Integration dieser Funktionen gibt es jedoch zwei zentrale Probleme.

Auf der einen Seite sind die Standards noch nicht bei allen Geräten umgesetzt und verhindern damit den Datenaustausch zwischen Anbaugeräten, Mähdröschern und Traktoren verschiedener Fabrikate (AgroXML, ISOBus, ISOAgriNet). Seit 2009 wird in Teamarbeit verschiedener Landtechnikhersteller gemeinsam an der Weiterentwicklung des ISOBus und den daraus resultierenden Displays gearbeitet. Beispiele für das Chaos auf dem Traktor finden sich in Abbildung vier. Das Resultat gemeinsamer Zusammenarbeit findet sich in Abbildung fünf. Nach mündlicher Aussage von Herstellern stößt die Datenübertragungsgeschwindigkeit des ISOBus an seine Grenzen.

Auf der anderen Seite ist die Breitbandversorgung im ländlichen Raum immer noch ein großes Problem. Die Verbindung zwischen den Landmaschinen, dem Farmmanagementinformationssystem (FMIS) auf dem Betrieb muss teilweise kostenintensiv realisiert werden. Die Internetanbindung ist an einigen Stellen auch noch mangelhaft. Dadurch bedingt können Anwendungen, die eine schnelle Anbindung benötigen, nicht realisiert werden. Die Maschinendatenerfassung und Übertragung zur Wartung der Maschinen ist mit einer relativ geringen Bandbreite realisierbar. Geht es jedoch darum, Erntedaten online zu

übertragen, um diese in ein Farmmanagementsystem zu bringen, stößt eine geringe Bandbreite an ihre Grenzen. Noch schwieriger wird es in Zonen, in denen gar keine Übertragung möglich ist. Hier wird hoffentlich in Zukunft die Digitalisierungsstrategie der Bundesregierung Abhilfe schaffen.



<https://www.aqweb.com>

Abbildung 4: Chaos auf dem Traktor



© Competence Center IsoBus 2013

Abbildung 6: Teamwork zwischen Herstellern

Fazit und Herausforderungen für die Zukunft

Für die Zukunft und eine weitere Digitalisierung in der Landwirtschaft lassen sich einige Punkte identifizieren, an denen noch gearbeitet werden muss.

- Die Vernetzung muss ausgebaut werden. Darunter fällt die technische Vernetzung (Breitbandausbau), aber auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung. Nur zusammen lassen sich die Herausforderungen der Zukunft meistern. Dieses gilt sowohl für Forschungsverbünde zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie, als auch für die Zusammenarbeit zwischen Mitbewerbern. Das Competence Center IsoBus ist ein gutes Beispiel dafür).
- Das Öl des 21. Jahrhunderts, die Daten, die auf den landwirtschaftlichen Betrieben entstehen, müssen in den Händen der Landwirte bleiben, bzw. dürfen nur zielgerichtet weitergegeben werden. Der Landwirt muss durch die Weitergabe der Daten einen Mehrwert erzielen. Auch der Datenschutz spielt eine wichtige Rolle. Es müssen Auflagen bei der Weiterverarbeitung beachtet werden (s. auch DLG-Positionspapier zur Digitalisierung in der Landwirtschaft).
- Im Bereich der Ausbildung müssen auch Ausbildungskonzepte der Hochschulen und Universitäten überdacht werden. Es hat sich in verschiedenen Untersuchungen (Borchard 2017, 2018, Beinert 2017) herausgestellt, dass es bei der digitalen Kompetenz der „Digital Natives“, aber auch der normalen Bevölkerung noch Defizite gibt. Hier gibt es ein großes Potential, schon

in der voruniversitären Ausbildung, aber auch an den Universitäten und Hochschulen etwas zu verbessern. Die Ansätze, in verschiedenen Bundesländern wieder Lehrstühle für Agrar- und Ernährungsinformatik zu etablieren, ist sicherlich ein richtiger Weg. In Kiel wird zum Sommersemester ein neuer Lehrstuhl für „Nutriinformatik“ geschaffen.

- Mit der digitalen Transformation geht eine disruptive Entwicklung bei Technologiekonzepten einher. Es hat sich herausgestellt, dass bestimmte Branchen in einem totalen Umbruch sind. AirBnb hat in der Übernachtungsbranche für sehr viel Aufregung gesorgt. Im Bereich des Personentransportes sorgt gerade das UBER-Konzept für starken Wirbel. Beides Beispiele, wie dezentrale Ansätze funktionieren können. Eine weitere Revolution steht mit der Blockchain-Technologie bevor. Im Bereich der Automobilindustrie wird es mit alternativen Fahr- und Antriebskonzepten auch zu großen Überwerfungen kommen. Erste Beispiele dafür sind in Abbildung 6 zu sehen.



Disrupt!



Abbildung 7: Alternative Fahr- und Antriebskonzepte

Im der Landtechnikindustrie sind ebenfalls schon Konzepte vorgestellt worden, die das Potential haben, zu disruptiven Veränderungen im Maschineneinsatz zu führen (s. Abbildung 7). In einem großen Forschungsverbund (www.feldschwarm.de) wird auch an einem völlig neuartigen Konzept der alternativen Antriebe und Maschinenführung gearbeitet.

In naher Zukunft sind durch den verstärkten Einsatz von KI (Künstlicher Intelligenz) und Maschinenlernen noch sehr viele neue Entwicklungen zu erwarten.



Disrupt!



Abbildung 8: Alternative Konzepte in der Landtechnik

Wir müssen uns vergegenwärtigen, dass die „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ exponentiell und an vielen Stellen disruptiv abläuft. Dieses wird Auswirkungen auf den Einsatz von Produktionsfaktoren (z.B. Maschinen und Arbeitskräften) haben. Ein Ende des exponentiellen Wachstums der Leistungsfähigkeit von Computern und Netzwerken ist noch nicht in Sicht. Das Moore'sche Gesetz hat weiter Gültigkeit.

Literatur

Beinert, M. (2017): Fachliche, methodische und persönlich-soziale Anforderungen an landwirtschaftliche Arbeitskräfte vor dem Hintergrund der zunehmenden Technisierung und Digitalisierung in der Landwirtschaft; In Schriftenreihe Rentenbank: Band 33, Arbeitsmarkt-Ausbildung-Migration-Perspektiven-fuer-die-Landwirtschaft

Borchard, K. (2018): Digitale Kompetenz an der Hochschule – Wie kompetent sind Studierende und Mitarbeitende an der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät im Bereich der ITK? In: Ruckelshausen, A., Meyer-Aurich, A., Borchard, K., Hofacker, C., Loy, J.-P., Schwerdtfeger, R., Sundermeier, H.-H., Floto, H., Theuvsen, B. (Hrsg.) (2018): Informatik in der Land-Forst- und Ernährungswirtschaft Fokus: Digitale Marktplätze. Referate der 38. GIL-Jahrestagung, 26.-27.02.2018, Kiel. GI-Edition Lecture Notes in Informatics

Borchard, K. (2017): „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ - Wie bekannt sind digitale Begriffe unter agrar- und ernährungswissenschaftlichen Studierenden? Referate der 37. GIL-Jahrestagung in Dresden - Digitale Transformation - Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft; Herausgegeben von: Arno Ruckelshausen, Andreas Meyer-Aurich, Wolfgang Lentz, Brigitte Theuvsen

Status Quo zu emissionsmindernden Maßnahmen in der Nutztierhaltung

Prof. Dr. Eberhard Hartung
Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, CAU Kiel
Dr. Brigitte Eurich-Menden, KTBL e.V., Darmstadt

Einleitung

Durch europäische und nationale Regelungen zur Luftreinhaltung besteht erheblicher Bedarf an abgesicherten Emissionsdaten und Emissionsminderungsmaßnahmen aus der Tierhaltung. Sie sind die Grundlage, um das Einhalten der internationalen und nationalen Minderungsziele nachzuweisen und die Pflichten der Emissionsberichterstattung zu erfüllen. Daher werden Emissionsminderungsmaßnahmen einerseits für die Prognose von Minderungspotenzialen benötigt. Andererseits sind sie notwendiges „Handwerkszeug“ zur Umsetzung der EU-Schlussfolgerungen zu den Besten verfügbaren Techniken (BVT; Nr. 5.4.7.1 Buchst. h) und i) i.V.m. Anhang 12 der TA Luft) oder zur Anwendung im Zusammenhang mit z.B. Um-, und/oder Neubauten von Ställen.

Bei der aktuellen Umsetzung der EU-rechtlichen Vorgaben zu den BVT-Schlussfolgerungen ist jedoch aufgrund der sich im Novellierungsprozess befindlichen TA Luft noch nicht klar, wie ambitioniert die zulässigen Emissionswerte und die dort aufgeführten Verfahren zur Emissionsminderung und deren Bandbreite an jeweiligem prozentualen Minderungseffekt umgesetzt werden.

Der aktuelle Entwurf Neufassung der TA Luft umfasst viele neue und im Vergleich zur TA Luft 2002 verschärfte Anforderungen; so auch, dass diese nicht (mehr) nur für „große“, immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Tierhaltungen (sog. V- und G-Anlagen) gilt. Somit würde die novellierte TA Luft alle Anlagenarten betreffen, ob klein oder groß, ob konventionell oder ökologisch, ob besonders tiergerecht oder nicht. Rinderhaltungen, ökologische und tiergerechte Verfahren (Außenklimaställe, Ausläufe) wären davon besonders betroffen, weil hier haltungsbedingt kaum technische Minderungsmaßnahmen verfügbar sind, und aufgrund ungünstiger Emissions- und Ausbreitungsbedingungen die Standortanforderungen besonders hoch sind. Bestrebungen zur Förderung des Tierwohls und tiergerechter Ställe bzw. Modernisierung des Anlagenbestandes zur Emissionsminderung würden erheblich erschwert. Darüber hinaus stiegen für V- und G-Anlagen die technischen Anforderungen zur Emissionsminderung (BVT-Vorgaben).

Minderungsmaßnahmen

Für die grundsätzliche Bewertung von Emissionsminderungsmaßnahmen werden diese in drei Kategorien unterschieden:

Kategorie 1: Es besteht ein nachgewiesener Emissionsminderungseffekt. Die Minderungsmaßnahme ist praxistauglich und gut zu kontrollieren.

Kategorie 2: Die Minderungswirkung der Maßnahme ist zwar im Praxismaßstab nachgewiesen, aber nicht einfach zu kontrollieren.

Kategorie 3: Ein Emissionsminderungspotenzial ist vorhanden, das Reduktionspotenzial ist aber nicht festlegbar, und/oder einer der nachfolgend genannten Punkte trifft zu: die emissionsmindernde Wirkung ist nicht immer nachweisbar bzw. unzureichend nachgewiesen; die Umsetzung in die Praxis erscheint wenig realistisch; die Kosten der Maßnahme sind zu hoch; es können unerwünschte Nebeneffekte auftreten. Keine Einstufung: Das Reduktionspotenzial ist nicht abschätzbar oder nicht nachweisbar.

Im nachfolgenden werden beispielhaft Minderungsmaßnahmen für die Bereiche Milchvieh-, Mastschweine- und Legehennenhaltung nach den o.g. Kategorien geordnet dargestellt/diskutiert.

Milchviehhaltung

Ausgewählte Emissionsminderungsmaßnahmen in der Milchkuh- bzw. für die Rinderhaltung sind in Tab. 1a und 1b nach Kategorien geordnet zusammengestellt. Die wichtigste Maßnahme ist die bedarfsgerechte Fütterung, da diese zu geringeren N-Ausscheidungen führt und hierdurch das Emissionspotenzial gesenkt wird. Auch die Weidehaltung stellt eine Emissionsminderungsmaßnahme dar. Durch das rasche Einsickern des Harns in den Boden werden die Umsetzung des Harnstoffs und die nachfolgende Bildung von Ammoniak verringert. Bei einem Stall-Weide-System sind die Minderungseffekte durch die Weide nur bei ausreichend Weideflächen und erst ab einer Weidedauer von mehr als 6 Stunden gegeben, da der Stall weiterhin als Emissionsquelle fungiert. Erst nach Abtrocknen der Laufflächen im Stall kann von einer geringeren Emission ausgegangen werden. Das Spülen der Laufflächen mit Wasser muss aufgrund des hohen Wasserverbrauchs und der damit zusätzlichen Kosten für die Lagerung und Ausbringung der Wirtschaftsdünger als ungünstig eingestuft werden. Der Einsatz von Ureaseinhibitoren bietet ebenfalls ein Emissionsminderungspotenzial, allerdings fehlt es hier noch an der Praxiseinführung.

Tab. 1a: Ausgewählte Emissionsminderungsmaßnahmen in der Milchkuhhaltung

Kategorie 1: bis 25 % Reduktionspotenzial ¹⁾	
Maßnahme	Anmerkung
Bedarfsgerechte Fütterung - nach nXP-Bedarf füttern - positive ruminale Stickstoffbilanz (RNB) bei Grasprodukten etc. ausgleichen - mikrobielle Stickstoff-Ausnutzung verbessern - Start in die Laktation optimieren - Energieversorgung der Mikroben verbessern - Synchronisation von Energie und Protein - Einsatz „geschützter“ Proteine	Die Maßnahme ist durch Harnstoffgehalt in der Milch gut kontrollierbar. Die Minderungsmöglichkeiten sind bei niedriger Proteinversorgung aus der Grundration (Maissilage, Pressschnittsilage etc.) geringer.
Kategorie 2: bis 15 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Weidehaltung	Reduktionspotenzial kann nur bei mind. 6 Stunden Weidehaltung erzielt werden, da der Stall weiterhin als Emissionsquelle fungiert. Die Maßnahme führt insgesamt zu geringeren Ammoniakemissionen, der Stickstoff wird allerdings auf die Weide verlagert. Als weitere Maßnahmen sind ausreichende Flächen zur Weidehaltung zur Verfügung zu stellen.
Kategorie 2: bis 20 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Bauliche Ausführung der Laufflächen	Laufflächen müssen plan befestigt mit 3 % Gefälle zur Gangmitte und einer Rinne am tiefsten Punkt zur Harnableitung ausgeführt sein.
Kategorie 3: bis 20 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Bauliche Ausführung der Laufflächen	Der Urin wird durch Rinnen und Löcher in den Laufflächen in den darunter liegenden Flüssigmistkanal abgeführt. Ein kammartiger Schrapper führt zu einer raschen Trennung von Kot und Harn; mehrmaliges Abschieben am Tag ist notwendig.
Spülen der Laufflächen mit Wasser	Ungünstige Einstufung erfolgt aufgrund des hohen Wasserverbrauchs. Zusätzliche Kosten entstehen auch bei Lagerung und Ausbringung. Der Wassereinsatz sollte auf max. 20 l je TP und Tag beschränkt werden.

¹⁾ Minderungspotenziale für Ammoniakemissionen verschiedener Maßnahmen in Milchkuhställen bezogen auf die Emissionsfaktoren.

Schweinehaltung

Die wichtigste Minderungsmaßnahme in der Mastschweinehaltung ist die Rohprotein angepasste Fütterung, die zur Umsetzung gewisse Anforderungen an die Technik stellt (Tab. 2a und 2b). Durch eine gezielte Stickstoffaufnahme lassen sich zwischen 10 und 40 % der Emissionen einsparen. Bei der Multiphasenfütterung mit Aminosäureausgleich wird hierbei eine tägliche Anpassung der Ration unterstellt. Auch müssen die technischen Voraussetzungen zur Durchführung einer Mehrphasenfütterung gegeben sein. Abweichend von UNECE (2007) wurde die Abluftreinigung in Deutschland in Kategorie 3 eingestuft.

Tab. 1b: Ausgewählte Emissionsminderungsmaßnahmen in der Milchkuhhaltung

Kategorie 3: bis 40 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Säurezusätze zu Flüssigmist	Bei Zugabe von organischen Säuren entstehen hohe Kosten. Bei der Zugabe anorganischer Säuren besteht ein erhöhtes Risiko in der Handhabung. Durch Korrosion ist mit weiteren Kosten zu rechnen.
Kategorie 3: Reduktionspotenzial nicht festlegbar	
Maßnahme	Anmerkung
Anwendung von Ureaseinhibitoren	Ein Minderungspotenzial ist vorhanden, aber eine technische Umsetzung in die Praxis ist noch nicht eingeführt. Die Verteilung der Urease ist noch in der Entwicklung; die Kosten werden derzeit noch sehr hoch eingestuft. Gesundheits- und umwelt-technisch ist die Anwendung bereits geprüft.
Keine Einstufung – Reduktionspotenzial nicht abschätzbar	
Maßnahme	Anmerkung
Zusätze Mineralien, Bakterien, Mikroorganismen zum Flüssigmist	Keine wiederholbaren Minderungseffekte messbar. Die Überprüfbarkeit dieser Maßnahme ist nicht gegeben. Die Maßnahme kann auch zu einer Erhöhung der Emissionen führen. Gute fachliche Praxis der Emissionsminderung sieht bereits mehrmaliges Abschieben am Tag vor.
Abschiebefrequenz der Laufflächen (mehr als 12/Tag)	

¹⁾ Minderungspotenziale für Ammoniakemissionen verschiedener Maßnahmen in Milchkuhställen bezogen auf die Emissionsfaktoren.

Tab. 2a: Ausgewählte Emissionsminderungsmaßnahmen in der Schweinehaltung

Kategorie 1: bis 10 % Reduktionspotenzial ¹⁾	
Maßnahme	Anmerkung
Referenz: Einphasenfütterung: 18 % Rohprotein angepasste Fütterung durch: - Phasenfütterung (2 Phasen)	Anpassung von Vor- auf Hauptmast: Reduktion des Rohproteingehalts von 18 auf 15 % Rohprotein (RP).
Zuluftkühlung	Die Maßnahme kann durch Einsatz eines Erdwärmetauschers durchgeführt werden, in Abhängigkeit von Standort und ΔT . Einsatz im Sommer bei einer Außenlufttemperatur von über 25 °C sinnvoll.
Kategorie 1: bis 20 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Referenz: Einphasenfütterung: 18 % Rohprotein angepasste Fütterung durch: - Mehrphasenfütterung (3-4 Phasen)	Anpassung des Rohproteingehaltes in mehrwöchigen Abständen (von 18 auf 13 % RP); Ausgleich der Ration mit essentiellen Aminosäuren (Lysin, Methionin).
Kategorie 3: bis 10 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Reduzierung der emittierenden Oberfläche/ Bodengestaltung	Nur in der Ferkelaufzucht sinnvoll; z. B. plan befestigter, konvexer bzw. geneigter Boden mit Hamrinnen oder anderen Ableitungseinrichtungen.
Kategorie 3: bis 40 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Referenz: Einphasenfütterung: 18 % Rohprotein angepasste Fütterung durch: - Multiphasenfütterung plus Aminosäureausgleich	Tägliche Anpassung des Rohproteingehaltes (von 18 auf 13 % RP); Ausgleich mit essentiellen Aminosäuren (Lysin, Methionin).

¹⁾ Minderungspotenziale für Ammoniakemissionen verschiedener Maßnahmen in Milchkuhställen bezogen auf die Emissionsfaktoren.

²⁾ Abweichung zu UNECE-Guidance document (2007): dort Einstufung der Abluftreinigung in Kategorie 1. Aufgrund der Kosten wird die Abluftreinigung in Deutschland von der Arbeitsgruppe in Kategorie 3 eingestuft.

Tab. 2b: Ausgewählte Emissionsminderungsmaßnahmen in der Schweinehaltung

Kategorie 3: 70–90 % Reduktionspotenzial	
Maßnahme	Anmerkung
Abluftreinigung (DLG-zertifizierte Anlagen; chemischer Wäscher, Rieselbettreaktor, 2 und 3 stufige Verfahren)	Kostenintensiv.
Kategorie 3: Reduktionspotenzial nicht festlegbar	
Maßnahme	Anmerkung
Futterzusätze/ Futterkomponenten z. B. zur Reduzierung des pH-Wertes im Urin, Verbesserung der N-Ausnutzung	EU-rechtliche Vorgaben zur Zugabe in Futtermitteln muss gewährleistet sein; mit Zusatzkosten verbunden.
Säurezugabe Flüssigmist	Kostenintensiv, Risiken bei der Handhabung, Korrosion kann auftreten.
Optimierung der Luftführung im Stall	Minimierung der Konzentrationsgradienten im bodennahen Bereich des Stalles.
Lagerungsdauer der Gülle Referenz: Lagerdauer eine Mastperiode Maßnahme: Güllekanäle 1 bis 2 mal innerhalb der Mastperiode entleeren	Die emissionsmindernde Wirkung ist nicht immer nachweisbar bzw. unzureichend nachgewiesen, technischer Aufwand, zusätzliche Arbeitskosten.
Keine Einstufung – Reduktionspotenzial nicht abschätzbar	
Maßnahme	Anmerkung
Spülsysteme	Hoher technischer Aufwand, erhöhter Wasserbedarf, mit zusätzlichen Kosten verbunden.
Abdeckung der Gülle unter den Spalten	Es existieren keine praktikablen Lösungen für diese Maßnahme.
Großgruppe	Der Emissionsminderungseffekt ist nicht wissenschaftlich nachgewiesen.

1) Minderungspotenziale für Ammoniakemissionen verschiedener Maßnahmen in Milchkuhställen bezogen auf die Emissionsfaktoren.

2) Abweichung zu UNECE-Guidance document (2007): dort Einstufung der Abluftreinigung in Kategorie 1. Aufgrund der Kosten wird die Abluftreinigung in Deutschland von der Arbeitsgruppe in Kategorie 3 eingestuft.

Legehennenhaltung

Als baulich-technische Minderungsmaßnahmen sind das Kotband und die Belüftung des Kotbandes berücksichtigt (Tab. 3). Die Reduktionsanteile durch diese Maßnahmen sind in den Emissionsfaktoren der jeweiligen Haltungsverfahren berücksichtigt und lassen sich nicht gesondert ausweisen. Als weitere Minderungsoption wird das externe Kotlager genannt. Welchen Einfluss die externe Kotlagerung auf die Emissionen hat, kann aufgrund fehlender Emissionsdaten nicht festgelegt werden. Die Entmistungsintervalle des Kotbandes spielen jedoch eine wichtige Rolle für die Emissionsminderung. Als Standard wird von einer wöchentlichen Entmistung der Kotbänder ausgegangen. Besser ist eine Entmistung zweimal in der Woche. Die Kotbandbelüftung sollte mit 0,4 bis 0,5 m³ pro Tier und Stunde durchgeführt werden.

Tab. 3: Ammoniakemissionsfaktoren für verschiedene Legehennenhaltungsverfahren

Haltungsverfahren	Emissionsfaktor ¹⁾ g NH ₃ /(TP · a)
Kleingruppenhaltung ²⁾ , unbelüftetes Kotband, Entmistung einmal wöchentlich	150
Kleingruppenhaltung ²⁾ , belüftetes Kotband, Entmistung einmal wöchentlich	40
Bodenhaltung mit Volierengestellen, unbelüftetes Kotband, Entmistung zweimal wöchentlich ³⁾	56
Bodenhaltung mit Volierengestellen, unbelüftetes Kotband, Entmistung einmal wöchentlich ³⁾	91
Bodenhaltung mit Volierengestellen, belüftetes Kotband, Entmistung einmal wöchentlich ³⁾	46
Bodenhaltung, Kotbunker, ganzjährige Lagerung des Kots im Stall ³⁾	315

1) Angabe in Ammoniak.

2) Begriff in Deutschland. In der EU wird das Haltungsverfahren als „ausgestalteter Käfig“ bezeichnet, der sich durch ein geringeres Platzangebot auszeichnet.

3) Emissionen aus dem Stallbereich, ohne den Anteil der Auslaufhaltung.

Fazit

Wie bereits in der Einleitung beschrieben besteht durch europäische und nationale Regelungen zur Luftreinhaltung erheblicher Bedarf an abgesicherten Emissionsdaten und Emissionsminderungsmaßnahmen aus der Tierhaltung. Daher gibt es zurzeit umfangreiche Bestrebungen den Kenntnisstand (welcher in den Tabellen 1 bis 3 beschrieben wird) auf unterschiedlichen Ebenen (für „nur“ baurechtliche Genehmigungsverfahren und/oder immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren) zu aktualisieren. Dies geschieht einerseits im Rahmen der Novellierung der TA Luft und der aktuellen Umsetzung der EU-Schlussfolgerungen zu den Besten verfügbaren Techniken (BVT; Nr. 5.4.7.1 Buchst. h) und i) i.V.m. Anhang 12 der TA Luft). Andererseits in der Aktualisierung der Beschreibung/Festlegung der „Guten fachlichen Praxis zur Minderung von Ammoniakemissionen“ sowie in der Überarbeitung von Blatt 1 der VDI 3894 „Emissionsminderung Tierhaltung“, in welchem der aktuelle Stand der Haltungstechnik von Nutztierställen inklusive der damit verbundenen Emissionsfaktoren und eine detaillierte Beschreibung/Bewertung der Möglichkeiten der Emissionsminderung neu zusammengestellt werden. Des Weiteren gibt es im Rahmen von VERA (Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production) intensive internationale Bestrebungen allgemein akzeptierte Testprotokolle zu erstellen anhand derer die Höhe von Emissionsfaktoren und die Reduktionswirkung von Emissionsminderungsmaßnahmen belastbar ermittelt werden.

One Health Challenge – Tiergesundheit an der Grenzfläche zwischen Landwirtschaft und Public Health

Prof. Dr. Christina Hölzel¹, Dr. Rupert Bassitta², Dr. Katrin Harms³

¹Institut für Tierzucht und Tierhaltung, CAU Kiel

²Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch, LMU München

³Lehrstuhl für Tierhygiene, WZW, TUM

Nutztiere langfristig gesund zu erhalten ist ein wesentliches Ziel nachhaltiger Landwirtschaft, sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als auch aus Gründen des Tierwohls. Zugleich sind Landwirte als Primärproduzenten eingebunden in die Lebensmittelkette („from farm to fork“) und stehen in der Verantwortung für den Verbraucherschutz, aber auch für die Umweltsicherheit.

Die Gesundheit von Tieren, Menschen und Ökosystemen ist untrennbar miteinander verknüpft; das One Health Konzept berücksichtigt deshalb für Handlungsempfehlungen in den einzelnen Bereichen interdisziplinär die möglichen Auswirkungen auf die globale Gesundheit. Daraus ergeben sich zum Teil gleichsinnige Interessen, etwa wenn das Vorkommen von *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (MAP) in landwirtschaftlichen Betrieben gesenkt wird: Die Paratuberkulose als meldepflichtige Tierseuche verursacht einerseits erhebliche wirtschaftliche Verluste in der Agrarwirtschaft; andererseits wird vorbeugender Verbraucherschutz umgesetzt, wenn trotz der unklaren Relevanz für die menschliche Gesundheit – bisher konnte weder bewiesen noch widerlegt werden, ob MAP als Auslöser der Darmerkrankung Morbus Crohn fungiert – der Eintrag von MAP aus der Primärproduktion in die Nahrungskette reduziert werden kann.

Als Schlüsselemente für die Bekämpfung der Paratuberkulose in der Primärproduktion erscheinen die sichere und frühzeitige Erkennung infizierter Tiere und – im Idealfall – die Selektion resistenter bzw. unempfindlicher Tiere. In der Diagnostik bestehen jedoch enorme Schwierigkeiten: so ist die Sensitivität anerkannter Nachweissysteme (Kultur, PCR) in Rinderkot moderat (Nachweisgrenze z. B. 10^2 cfu/g, in inokulierten, also vergleichsweise homogen erregerhaltigen Kotproben mittels kultureller und molekularbiologischer Verfahren, de Kruijf et al., 2017), die Kultur ist zudem sehr langwierig. Die Nachweisgrenzen von Antigen-gerichteten Standard-ELISA-Verfahren liegt noch höher; ELISA-Testergebnisse hinsichtlich des Antikörpervorkommens (Serum, Milch) erlauben keine Rückschlüsse auf die Ausscheidung von Erregern. Zudem ist für Deutschland weitgehend unbekannt, welche sogenannten Umweltmykobakterien in den Rinderbeständen auftreten; aufgrund der großen Anzahl unterschiedlicher Mykobakterienspezies (aktuell über 180 Spezies) kann die Validierung der Testspezifität üblicherweise lediglich für einen Ausschnitt des Genus geleistet werden. Aus den USA liegen Daten zum Vorkommen bestimmter Mykobakterienspezies in Rinderbeständen vor, die dort in kommerziellen Testsystemen teils zu Kreuzreaktionen und somit unspezifischen Ergebnissen führen (Roussel et al., 2007; Osterstock et al., 2007). Unter – vorbeugenden - One Health Aspekten ist

zudem der verlässliche Nachweis im Lebensmittel relevant, hierbei müssen vermehrungsfähige Erreger sicher von abgetöteten Erregern unterschieden werden. Ziel eines aktuell geförderten AiF/FEI-Projektes (LMU München, Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch und Lehrstuhl für Physiologie), in dem unsere Arbeitsgruppe kooperiert, ist daher der verbesserte Nachweis von *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* primär in Milch und die Identifizierung eventuell disponierter Tiere, um so die Ausbreitung in Rinderbeständen zu reduzieren und den etwaigen Transfer zum Verbraucher verlässlich überprüfen zu können.

Zum Teil sind Entscheidungen auf Basis des One Health Konzeptes mit ökonomischen Lasten für die Landwirtschaft verbunden, ohne dass für den Landwirt im eigenen Bestand ein unmittelbarer Nutzen erkennbar wird. Solche Zusammenhänge stehen der systematischen Bekämpfung von *Campylobacter* spp. z. B. in Geflügelbeständen entgegen, so dass hier wirksame Programme fehlen, obwohl *Campylobacter* inzwischen EU-weit die höchste Anzahl Lebensmittel-bedingter Zoonosen verursacht und dabei am dritthäufigsten zum Tod führt (EFSA, 2016). Überwiegend wird postuliert, dass *Campylobacter*-Infektionen beim Geflügel selbst generell symptomlos und ohne wirtschaftliche Verluste verlaufen; aktuelle Studien werfen daran jedoch Zweifel auf (Vaezirad et al., 2017). Zudem wird mindestens bei Schafen berichtet, dass zoonotische *Campylobacter*-Spezies (insbesondere *Campylobacter jejuni*) mittlerweile häufiger Aborte auslösen als die bekannten Tierseuchenerreger *Campylobacter fetus* subsp. *fetus* und *Campylobacter fetus* subsp. *venerealis* (Sahin et al., 2017). Eine Senkung der Prävalenz zoonotischer *Campylobacter* insbesondere auch in milcherzeugenden Betrieben erscheint relevant, da es immer wieder zu *Campylobacter*-Infektionen nach Rohmilch-Konsum kommt; die zunehmende Beliebtheit von Rohmilchtankstellen lässt nicht erwarten, dass dieser Infektionsweg an Bedeutung verliert: Verbraucher missachten regelmäßig die gesetzeskonformen Hinweise auf die Notwendigkeit, diese Milch vor Verzehr abzukochen. Weitere Forschungsergebnisse zur Bedeutung zoonotischer *Campylobacter*-Spezies für die Tiergesundheit könnten die Motivation der landwirtschaftlichen Betriebe zur Bekämpfung dieser Zoonose in der Primärproduktion nachhaltig stärken.

Diametral entgegengesetzt erscheinen die Interessen von Tierhaltung und Verbraucherschutz zunächst auf dem Gebiet des Antibiotikaeinsatzes: So wurde im Zusammenhang mit dem Antibiotika-Minimierungskonzept befürchtet, eine Reduktion des Antibiotikaeinsatzes müsse zwangsläufig zu Lasten von Tiergesundheit und Tierwohl gehen. Erste Forschungsergebnisse geben jedoch Hinweise darauf, dass der gezielte Antibiotikaeinsatz am Einzeltier nicht nur die Kennzahlen signifikant senkt, sondern wesentlich zur Verringerung der Resistenzproblematik im Tierbestand beiträgt, ohne die negativen Auswirkungen einer indikationsunabhängigen generellen Antibiotikaverweigerung auf Tiergesundheit und Tierwohl zu zeigen (Bassitta et al., 2017).

Die tägliche Konzentrationsbestimmung von Antibiotikarückständen und Antibiotikaresistenzgehalten erbrachte unter anderem folgenden Befund: Bereits geringe fä-

kale Konzentrationen in den ersten Tagen einer oralen Sulfadiazinbehandlung gingen einher mit einer signifikanten Steigerung der Resistenzgenuausscheidung in den Faeces von Schweinen; dies belegt einmal mehr die negative Auswirkung von Unterdosierung. Während die im weiteren Therapieverlauf stark ansteigenden Konzentrationen an faekalem Sulfadiazin mit einer Normalisierung der zunächst stark erhöhten Resistenzgengehalte vom *sulI*-Typ einherging, bleibt bei einer Unterdosierung der sekundäre Anstieg der Antibiotikakonzentrationen und somit unter Umständen auch die Normalisierung der Resistenzgengehalte aus. Zu unbeabsichtigten Unterdosierungen bei oraler Anwendung kommt es durch tierindividuell unterschiedliche Aufnahme – insbesondere systemisch erkrankte Tiere zeigen regelmäßig verringerte Futteraufnahme –, aber auch durch unregelmäßige Verteilung entlang der Futterleitungen. In der gezeigten Studie differierten am selben Behandlungstag die faekalen Sulfadiazin- Konzentrationen zwischen den beobachteten Individuen (S1-S10) gleichen Alters und Gewichts um mehr als den Faktor 4 (Abbildung 1). Zugleich unterschieden sich die Sulfadiazingehalte in den analysierten Futterproben (Kooperation Dr. Julia Denhöfer, LGL Bayern) – trotz Nutzung eines geeigneten maschinellen Einmischverfahrens – je nach Anwendungstag und Position am Trog um mehr als Faktor 8.

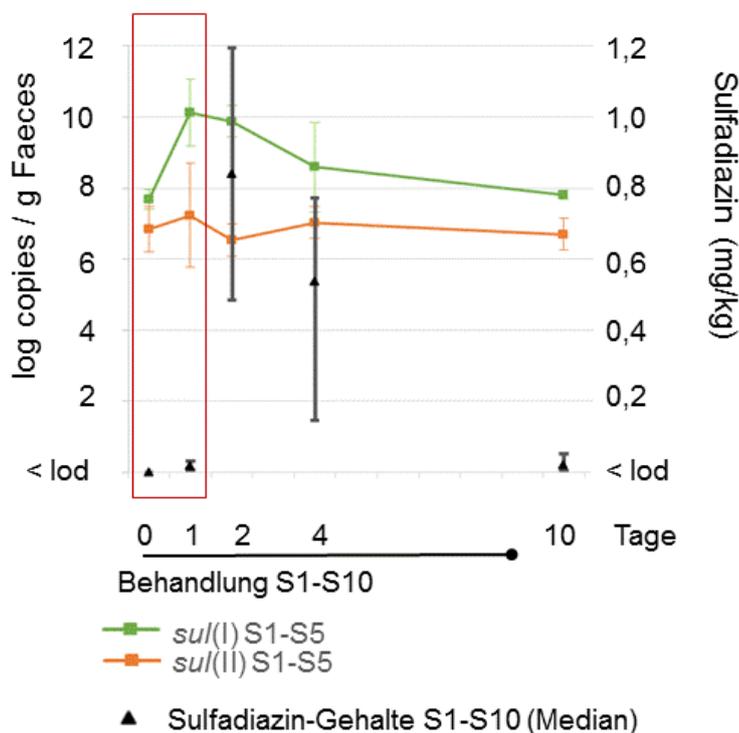


Abbildung 1: Sulfadiazin-Gehalte und Resistenzgengehalte in den Faeces von Schweinen nach oraler Sulfadiazin-Applikation

Abgesehen von Auswirkungen des Antibiotikaeinsatzes auf die bakterielle Antibiotikaresistenz bei behandelten Tieren zeigte sich zudem, dass der Antibiotikaeinsatz im Tierbestand durch den Landwirt unmittelbare Auswirkungen

auf dessen Besiedelung mit resistenten Bakterien sowie die Ausscheidung von Resistenzgenen hat (Bassitta 2016). Hingegen konnten für die Indikatorspezies *E. coli* im Habitat Darm keine Belege für einen Übergang resistenter Keime zwischen Tier und Landwirt nachgewiesen werden: auch genetisch sehr ähnliche Stämme unterschieden sich in der Art und Ausprägung ihrer mobil verankerten Resistenzeigenschaften. Für die Resistenzeigenschaften im intestinalen Mikrobiom scheint somit insbesondere die Selektion durch Wirkstoffkontakt – und weniger die bloße Übertragung resistenter Bakterien – als disponierender Faktor bei Mensch und Tier.

Literatur:

de Kruijf M, Govender R, Yearsley D, Coffey A, O'Mahony J. A comparative study evaluating the efficacy of IS_MAP04 with IS900 and IS_MAP02 as a new diagnostic target for the detection of *Mycobacterium avium* subspecies *paratuberculosis* from bovine faeces. *Vet Microbiol.* 2017;204:104-109

Bassitta R, Bartuschat A, Harms K, Bauer J, Straubinger RK, Poljak S, Storch J, Denhöfer J, Schwaller A, Hamann J, Hölzel CS. Antibiotikaeinsatz in der Bayerischen Schweinehaltungspraxis ABYS: Antibiotikaeinsatz und Antibiotikaresistenz in ökologischen Betrieben. In: S. Wolfrum, H. Heuwinkel, H.J. Reents, u.a. (Hrsg.) (2017): Ökologischen Landbau weiterdenken - Verantwortung übernehmen - Vertrauen stärken. Beiträge der 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weihenstephan, 7.-10. März 2017, Verlag Dr. Köster, Berlin (online: <http://orgprints.org/31832/>)

Bassitta R. Untersuchungen zur Selektion von Resistenzgenen in bayerischen Schweinehaltungsbetrieben und zur Übertragung antibiotikaresistenter *E. coli* zwischen Tier und Mensch. Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät (online: <https://edoc.ub.uni-muenchen.de/19268/>)

Osterstock JB, Fosgate GT, Norby B, Manning EJ, Collins MT, Roussel AJ. Contribution of environmental mycobacteria to false-positive serum ELISA results for paratuberculosis. *J Am Vet Med Assoc.* 2007;230(6):896-901.

Roussel AJ, Fosgate GT, Manning EJ, Collins MT. Association of fecal shedding of mycobacteria with high ELISA-determined seroprevalence for paratuberculosis in beef herds. *J Am Vet Med Assoc.* 2007;230(6):890-5.

Sahin O, Yaeger M, Wu Z, Zhang Q. *Campylobacter*-Associated Diseases in Animals. *Annu Rev Anim Biosci.* 2017;5:21-42.

Vaezirad MM, Keestra-Gouder AM, de Zoete MR, Koene MG, Wagenaar JA, van Putten JP. Invasive behaviour of *Campylobacter jejuni* in immunosuppressed chickens. *Virulence* 2017; 8(3): 248-260; <http://dx.doi.org/10.1080/21505594.2016.1221559>).

Danksagung:

Das IGF-Vorhaben AiF 18388 N („Nachweis von *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis*“) der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

Dank geht auch an das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz für die Förderung der Forschungsarbeiten zur bakteriellen Antibiotikaresistenz in mehreren Projekten.

Neue Merkmale in der Zucht – Möglichkeiten und Grenzen

MSc. Lisa-Marie Sandberg
Prof. Dr. Georg Thaller

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

Einleitung

Die Zucht wird allgemein stets vorangetrieben durch das Ziel, vitale Tiere hervorzubringen, die unter den zukünftig zu erwartenden Produktions- und Absatzbedingungen einen höchstmöglichen Gewinn erzielen, um sowohl ökonomischen Aspekten als auch Aspekten des Tierwohls gerecht zu werden. Verschiedene vergangene und zukünftige Veränderungen in der Tierzucht wie beispielsweise die Einführung der genomischen Selektion (Hayes et al., 2009; Thaller, 2009) oder der Wandel in der Leistungsprüfung (König und Swalve, 2009) sowie Marktentwicklungen wie das Ende der Milchquote 2015 oder die Einführung des Tierschutzlabels 2013 (Kuhn, 2017) prägen das Gesamtzuchtziel immer wieder auf ein Neues. Dementsprechend unterliegt das Zuchtziel einem relativ raschen Wandel und es werden fortlaufend Zuchtzielanpassungen in Abstimmung mit Züchtereinigungen, Besamungsstationen, Erzeugern und Vermarktern vorgenommen. Im Zuge dessen besteht die Aufgabe der Wissenschaft darin, die Datenerhebung schwer erfassbarer Merkmale auf Versuchsstationen durchzuführen sowie Ansätze und Methoden voranzutreiben, um neue zielführende Merkmale hervorzubringen. Darüber hinaus muss zum einen der potenziell zu ermöglichende Zuchtfortschritt für das jeweilige neue Merkmal kritisch bewertet und zum anderen in Bezug auf die bereits bestehenden Zuchtziele der verfügbare Handlungsspielraum abgeschätzt werden.

Definitionen

Ein *Merkmal* bezeichnet in der Tierzucht alle Eigenschaften eines Tieres, die uns als wiedererkennbare Kennzeichen desselben dienen und in individuell unterscheidbaren Varianten (Merkmalsausprägungen) auftreten. Der *Phänotyp* ist dagegen die Menge aller Merkmale eines Tieres und umfasst damit die morphologischen und physiologischen Charakteristika sowie Verhaltensmuster.

Aktuelle Beispiele aus der Forschung

Im Folgenden werden an ausgewählten Beispielen aktuelle Fragestellungen der Tierzuchtforschung hinsichtlich der Erschließung neuer Merkmale für die Zucht erörtert.

Tiergesundheit – Ketoserisiko beim Milchrind

Im Grunde durchläuft nahezu jede hochleistende Milchkuh eine Phase mit negativer Energiebilanz im Stadium der frühen Laktation. Am stärksten ausgeprägt ist diese in der zweiten bis fünften Laktationswoche, da die Futteraufnahme nicht der Milchleistung entsprechend schnell ansteigt und somit der erhöhte Energiebedarf für die Milchbildung nicht aus der Nahrung gedeckt werden kann, sondern körpereigene Fettreserven mobilisiert werden müssen. In dieser Stoffwechsellage sind Hochleistungskühe einem erhöhten Erkrankungsrisiko ausgesetzt. Die Anfälligkeit für Stoffwechselstörungen wie beispielsweise die Ketose steigen. Durch einen verstärkten Abbau von körpereigenem Fett gelangen freie Fettsäuren und erhöhte Gehalte an Ketonkörpern (Aceton, Acetonacetat, β -Hydroxybutyrat) in die Blutbahnen, in dessen Folge eine subklinische oder klinische Ketose entstehen kann (Collard et al. 2000).

Die Konzentrationen an Ketonkörpern in Milch- oder Blutproben sind etablierte Biomarker für die Ketose (Enjalbert et al., 2001). Metabolomanalysen der Milch mittels nuklearmagnetischer Resonanzspektroskopie haben gezeigt, dass das Milch-Metabolitenverhältnis Glycerophosphocholin (GPC) zu Phosphocholin (PC) in der Früh-laktation sowie der GPC-Gehalt in der mittleren Laktation hinweisend als prognostische Biomarker für das Ketose-Risiko bei Milchkühen sind (Klein et al. 2010). Die Nutzung der Informationen von GPC/PC oder GPC-Konzentrationen könnten in der Zucht genutzt werden, um Tiere zu identifizieren, welche besser mit dem Energiedefizit in der frühen Laktation zurechtkommen und daher weniger anfällig für die Ketose sind (Klein et al., 2010). In einer weiterführenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Milchmenge von GPC und das GPC/PC-Verhältnis hoch vererbare Eigenschaften sind (h^2 GPC = 0,43; h^2 GPC/PC = 0,34). Eine Mutation auf BTA25 wirkt sich signifikant auf GPC und GPC/PC aus und erklärt 33% der additiv genetischen und 17% der phänotypischen Varianz für GPC (Tetens et al., 2015).

Klimarelevanz – Methanemissionen bei Wiederkäuern

Anthropogene Treibhauseffekte stehen als Auslöser von Umweltproblemen zunehmend im Fokus des öffentlichen Interesses. Im Rahmen dessen nimmt die landwirtschaftliche Produktion in nicht unerheblichem Maße Einfluss auf den Klimawandel (FAO, 2010). Methan besitzt ein 25-fach stärkeres Treibhauspotenzial als Kohlenstoffdioxid und wird vornehmlich im Pansen (87 %) und zu einem geringen Teil im Dickdarm (13 %) von Wiederkäuern unter strikt anaeroben Bedingungen produziert und mittels Ruktus-Reflex an die Umwelt abgegeben (Gressley et al., 2011).

Die bei gleichem Leistungsniveau und derselben Haltungsumgebung beobachteten tierindividuellen Variationen in der Methanemission beim Wiederkäuer sowie die unter unterschiedlichen Fütterungsbedingungen gefundenen Tiere mit hohem oder niedrigem Methanausstoß haben auf eine züchterische Relevanz dieses neuen Merkmals hingewiesen (Schwerin et al., 2012). Darüber hinaus konnte ein mittlerer Erblichkeitsgrad geschätzt werden, welcher erwiesenermaßen die grundsätzliche Möglichkeit für eine züchterische Bearbeitung anzeigt (Van Engelen et al., 2015). Grundlage für eine erfolgreiche Zucht auf verminderte Emissionen ist, neben der Entwicklung einer kostengünstigen und flächendeckenden Quantifizierungsmethode sowie der Definition eines geeigneten Phänotyps, die Aufklärung der genetischen Ursachen der beobachteten individuellen Variation (De Haas et al., 2017).

Zur Messung und Schätzung der Methanemissionen beim Einzeltier sind in den vergangenen Jahren verschiedenste Methoden intensiv erforscht sowie bestehende Ansätze weiterentwickelt und spezifiziert worden. In Bezug auf die Genauigkeit der Erfassung der Methanausscheidung stellen Respirationsskammern den ‚Goldstandard‘ dar. Jedoch kann diese kosten- und personalintensive Methodik lediglich an wenigen Referenztieren durchgeführt werden. Als potenzielle transportable Alternative kommt beispielsweise der Laser Methan Detektor in der Forschung zum Einsatz (Chagunda et al., 2013). Die generelle Schwierigkeit liegt hierbei in der Merkmalerfassung in der natürlichen Haltungsumwelt der Tiere mit diversen Einflussgrößen und potenziellen Fehlerquellen, die quantifiziert und eliminiert werden müssen. Die größte Herausforderung besteht weiterhin darin, eine praxistaugliche Methode für eine akkurate und unverzerrte Einzeltiermessung zu finden, mit der eine hoher Durchsatz bei höchst möglicher Kosteneffizienz erzielt werden kann (Negussie et al., 2017; Sandberg et al., 2017a). Ein anderweitiger Ansatz konträr zur direkten Messung der Methanausscheidung besteht in der Nutzung eines indirekten Hilfsmerkmals, welches eine hohe Korrelation mit dem Zielmerkmal aufweisen muss. In dieser Hinsicht sind insbesondere Wirtstier-Pansenmikrobiom-Interaktionen von steigendem Interesse. In Clusteranalysen der bakteriellen und archaeellen Gemeinschaft im Pansen konnten Cluster identifiziert werden, welche signifikant mit der Methanproduktion in Beziehung standen. Ein Cluster wurde mit einem geringen Methanemissionen assoziiert, während ein anderes Cluster mit einer hohen Methanproduktion einherging. Tiere mit mittleren Emissionsleveln traten in beiden Clustern auf (Danielsson et al., 2017). Die Zusammensetzung methanogener Mikroorganismen sowie das Zusammenspiel der gesamten mikrobiellen Gemeinschaft in Pansensaft- und Kotproben zeigten in eigenen Untersuchungen deutliche Unterschiede zwischen den Tieren und könnte weiterführende Hinweise oder Ansatzpunkte für eine züchterische Bearbeitung liefern (Sandberg et al., 2017b).

Tierwohl – Verhalten beim Schwein

Aggressives Verhalten gegenüber Artgenossen stellt in kommerziellen Produktionssystemen der Schweinhaltung immer wieder ein Problem dar, in dessen Folge die Anzahl an Hautläsionen und Verletzungen sowie das Infektionsrisiko steigen. Schweine der gleichen Rasse und vom gleichen Zuchtunternehmen zeigen starke Unterschiede in der Ausprägung ihres aggressiven Verhaltens gegenüber Artgenossen (Desire et al., 2015).

Die Nutzung genetischer Marker, welche einen signifikanten Anteil der Merkmalsausprägung erklären, könnten routinemäßige Phänotypisierungen ersetzen. Das Screening von Selektions-kandidaten auf ihren Genotyp in bestimmten Markerregionen kann bereits in frühen Lebensstadien durchgeführt werden. Für das Schwanzbeißen gibt es beispielsweise erste Hinweise darauf, dass sich genetische Marker zwischen Opfer und beißenden Tieren unterscheiden lassen. Eine moderate Assoziation zu Schwanzbeißern ließ sich auf SSC16 identifizieren und Opfer des Schwanzbeißens zeigten auf SSC1, 9 und 18 signifikante Assoziationen. Wenn sich diese genetischen Unterschiede in weiteren Populationen bestätigen ließen, könnte die Verwendung genetischer Informationen eine wichtige Rolle bei der Auswahl von Schweinen spielen, die das Schwanzbeißen vermeiden (Wilson et al., 2012). Bevor allerdings auf Verhaltensmerkmale gezüchtet werden kann, muss geklärt sein, welche Auswirkungen die Selektion auf reduzierte Aggression auf andere Verhaltensweisen hat. Zukünftig wird in der Schweinezucht eine Ausweitung der Zuchtziele auf tierwohl-relevante Merkmale wahrscheinlich.

Zusammenfassung

Bei auch zukünftig zu erwartenden hohen Produktionskosten und zunehmend volatilen Preisen ist eine effiziente Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft gefordert. Die zentralen Voraussetzungen für eine rentable Tierproduktion bestehen deshalb in weiteren züchterischen Verbesserungen nicht nur der Leistung und Effizienz, sondern auch der Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten, der Nutzungsdauer und Lebensleistung, der Klimaanpassung und dem Emissionsbeitrag sowie dem Tierwohl und der Verhaltensadaptation.

Entscheidende Entwicklungen bei der Zucht von leistungsfähigen, krankheitsresistenten und robusten Nutztieren sind:

- Ausweitung flächendeckender Merkmalerhebungen im Feld
- Schaffung datentechnischer Voraussetzungen und adäquate datenstrukturelle Organisation, Harmonisierung verschiedener Datenformate und Ausbau bioinformatischer Datenanalysen (Big Data)
- Ausbau der Vernetzung landwirtschaftlicher Datenstrukturen mit flexiblen Schnittstellen und Zugang der Forschung zu den Daten

- Anstieg der Nachfrage für molekularbiologische Untersuchungen der ‚Omics‘-Ebenen
- Intensivierung interdisziplinärer Vernetzungen und Kollaborationen
- Förderung der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Anerkennung der Tierproduktion

Da die neuen Merkmale zunehmend komplexer und schwerer erfassbar werden erfordert die zukünftige Zucht hochleistender und vitaler Tiere zwingend weitere Forschung, um die Auswirkungen auf das Gesamtzuchtziel in Abhängigkeit von der Heritabilität und dem ökonomischen Wert des neuen Merkmals möglichst genau abschätzen zu können. Themenfelder in denen hoher Forschungsbedarf besteht sind beispielsweise die genetischen Determinanten differenzierter Krankheitsresistenzen, die gastrointestinalen und erblich bedingten Regulationsmechanismen der Futteraufnahme, die Minderungsansätze nachhaltiger Emissionseinsparungen aus der Tierhaltung oder die Grundlagen der Verhaltensadaption hinsichtlich Intertier-, Mensch- und Umweltinteraktionen.

Literatur

Berry, D. P., Meade, K. G., Mullen, M. P., Butler, S., Diskin, M. G., Morris, D. und Creevey, C. J. (2011): The integration of 'omic' disciplines and systems biology in cattle breeding. *Animal* 5, 493-505.

Brunberg, E., Jensen, P., Isaksson, A. und Keeling, L. J. (2013): Behavioural and brain gene expression profiling in pigs during tail biting outbreaks—evidence of a tail biting resistant phenotype. *PloS one*, 8, e66513.

Chagunda, M.G.G., D. Ross, J. Rooke, T. Yan, J.L. Douglas, L. Poret, N.R. McEwan, P. Teeranavattanakul und D.J. Roberts, (2013): Measurement of enteric methane from ruminants using a hand-held laser methane detector. *Animal Science* 63, 68–75.

Collard, B. L., Boettcher, P. J., Dekkers, J. C. M., Petitclerc, D. und Schaeffer, L. R. (2000): Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation. *Journal of dairy science*, 83, 2683-2690.

Danielsson, R., Dicksved, J., Sun, L., Gonda, H., Müller, B., Schnürer, A. und Bertilsson, J. (2017): Methane production in dairy cows correlates with rumen methanogenic and bacterial community structure. *Frontiers in Microbiology*, 8, 226.

D'eath, R. B., Conington, J., Lawrence, A. B., Olsson, I. A. S. und Sandøe, P. (2010): Breeding for behavioural change in farm animals: Practical, economic and ethical considerations. *Animal Welfare*, 19, 17-27.

De Haas, Y., Pszczola, M., Soyeurt, H., Wall, E. und Lassen, J. (2017): Invited review: Phenotypes to genetically reduce greenhouse gas emissions in dairying. *Journal of dairy science*, 100, 855-870.

Desire, S., Turner, S. P., D'Eath, R. B., Doeschl-Wilson, A. B., Lewis, C. R. G. und Roehe, R. (2015): Genetic associations of short-and long-term aggressiveness identified by skin lesion with growth, feed efficiency, and carcass characteristics in growing pigs. *Journal of animal science*, 93, 3303-3312.

Enjalbert, F., Nicot, M. C., Bayourthe, C. und Moncoulon, R. (2001): Ketone bodies in milk and blood of dairy cows: Relationship between concentrations and utilization for detection of subclinical ketosis. *Journal of Dairy Science*, 84, 583-589.

FAO, (2010): Greenhouse gas emissions from the dairy sector: A life cycle assessment. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Gressley, T.F., M.B. Hall und L.E. Armentano, (2011): Ruminant Nutrition Symposium: Productivity, digestion and health responses to hindgut acidosis in ruminants. *J. Anim. Sci.* 89, 1120–1130.

Hayes, B.J., P.J. Bowman, A.J. Chamberlain und M.E. Goddard (2009): Invited review: Genomic selection in dairy cattle: Progress and challenges. *J. Dairy Sci.* 92, 433–443.

Klein, M. S., Almstetter, M. F., Schlamberger, G., Nürnberger, N., Dettmer, K., Oefner, P. J., Meyer, H.H., Wiedemann, S. und Gronwald, W. (2010): Nuclear magnetic resonance and mass spectrometry-based milk metabolomics in dairy cows during early and late lactation. *Journal of dairy science*, 93, 1539-1550.

König, S. und H.H. Swalve (2009): Application of selection index calculations to determine selection strategies in genomic breeding programs. *J. Dairy Sci.* 92, 5292–5303.

Kuhn, B. (2017): Erfahrungen aus der Umsetzung des Tierschutzlabels bei Mastschweinen. In: Zukunft der deutschen Nutztierhaltung. KTBL Tagung 21.-23.März 2017. Berlin.

Negussie, E., de Haas, Y., Dehareng, F., Dewhurst, R. J., Dijkstra, J., Gengler, N., und Biscarini, F. (2017): Invited review: Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. *Journal of dairy science*, 100, 2433-2453.

Sandberg, L.-M., Krattenmacher, N., Tetens, J. Thaller, G. (2017a): Methoden zur Quantifizierung der Methanemissionen bei Rindern – Stand der Forschung, Potenziale und Grenzen. *Züchtungskunde*, 89, 161-187.

Sandberg, L.-M., Ulbricht, A., Fischer, M.A., Krattenmacher, N., Görs, S., Kuhle, B., Metges, C., Schmitz, R.A. und Thaller, G. (2017b): Untersuchungen zum Archaeolgehalt und mikrobiellen Status im Kot von Milchkühen. Tagungsband der Vortragsstagung der DGfZ e.V. und der Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaft e.V. am 20. und 21. September 2017 in Hohenheim, A19.

Santos, L. und S. König (2016): Methoden in der Tierzucht am Beispiel der Exterieurbeurteilung und der Zuchtwertschätzung für Milchrinder, In: Den Fährten folgen. Methoden interdisziplinärer Tierforschung, 2016, transcript Verlag, Bielefeld.

Schwerin, M., B. Bongartz, H. Cramer, B. Eurich-Menden, G. Flachowsky, M. Gaulty, A. Heißenhuber, D. Höppner, J. Ingwersen, O. Marquart, A. Menzel, B. Osterburg, F. Taube und G. Wittkowski, (2012): Der Klimawandel und die Herausforderungen für die Nutztierhaltung von morgen in Deutschland Positionspapier der DGfZ-Projektgruppe Klimarelevanz in der Nutztierhaltung. Züchtungskunde 84, 103–128.

Tetens, J., Heuer, C., Heyer, I., Klein, M. S., Gronwald, W., Junge, W., Oefner, P.J., Thaller, G. und Krattenmacher, N. (2015): Polymorphisms within the APOBR gene are highly associated with milk levels of prognostic ketosis biomarkers in dairy cows. Physiological genomics, 47, 129-137.

Thaller, G. (2009): Genomische Selektion – Stand der Wissenschaft. Züchtungskunde. 81, 14–22.

Van Engelen, S., H. Bovenhuis, P.P.J. van der Tol, J.A.M. van Arendonk und M. Visker (2015): Methane production by dairy cows measured in an automatic milking system, Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 91–91.

Wilson, K., Zanella, R., Ventura, C., Johansen, H. L., Framstad, T., Janczak, A., Zanelle, J. und Neibergs, H. L. (2012): Identification of chromosomal locations associated with tail biting and being a victim of tail-biting behaviour in the domestic pig (*Sus scrofa domesticus*). Journal of applied genetics, 53, 449-456.

Gibt es eine praktikable Alternative zum Ferkelschutzkorb in der Sauenhaltung?

Charlotte G.E. Grimberg-Henrici und Joachim Krieter

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

Einleitung

Seit dem Verbot der permanenten Fixierung tragender Sauen kommt die Frage auf, ob die Fixierung laktierender Sauen weiterhin vertretbar ist. Buchten mit Kurzzeitfixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb, freie Abferkelbuchten mit komplettem Verzicht auf Fixierung und Gruppenhaltungen von laktierenden Sauen rücken immer mehr in den wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fokus (Grimberg-Henrici et al., 2016, Bohnenkamp et al., 2013b). Insbesondere Gruppenhaltungen von Sauen mit ihren Ferkeln ermöglichen einen natürlicheren Ablauf der Geburt und während der Laktation (Jensen, 1986), denn auch in der Natur leben Sauen in kleinen Familiengruppen zusammen. Einige Tage vor der Geburt separieren sich die Sauen, bauen ein Nest und ferkeln ab. Ungefähr zehn Tage nach der Geburt kehren die Sauen mit ihrem Wurf zur Gruppe zurück und leben mit anderen Sauen und ihren Ferkeln in Familiengruppen zusammen. Somit ist die Gruppenhaltung laktierender Sauen die natürlichste Form der Sauenhaltung. Ebenso wurden stärkere Sau-Ferkel-Beziehungen in Gruppenhaltungssystemen nachgewiesen (Grimberg-Henrici et al., 2016) sowie ein stressfreieres Absetzmanagement für die Ferkel (Bohnenkamp et al., 2013a). Ferkel verschiedener Würfe, die während der Laktation zusammen aufwuchsen und nach dem Absetzen gemeinsam in die Aufzucht umgestallt wurden, übten weniger Kämpfe aus, die Kämpfe hatten eine kürzere Dauer und die Ferkel hatten weniger Verletzungen, verglichen mit Ferkel verschiedener Würfe, die sich erst nach dem Absetzen in der Aufzucht begegneten.

In konventionellen Haltungssystemen werden die Sauen während der Laktation einzeln im Ferkelschutzkorb fixiert. Diese Haltungsform schränkt die Sauen in ihrer Bewegungsfreiheit ein und steuert ihr Abliegeverhalten. Ein großer Vorteil der Fixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb ist die Reduzierung der Saugferkelverluste. Saugferkelverluste, die durch das Erdrücken durch die Sauen bedingt sind, stellen ein wirtschaftliches und ethisches Problem dar und haben meist einen multifaktoriellen Ursprung. Ein Faktor, der das Erdrücken des Ferkels begünstigt, ist der Gesundheitszustand des Ferkels (Pedersen et al., 2011), welcher häufig mit der Wurfgröße und dem Geburtsgewicht zusammenhängt (Milligan et al., 2002). Eine große Rolle spielen des Weiteren die Muttereigenschaften der Sauen wie ihre Reaktion auf Ferkelsignale, ihr Gesundheitszustand und ihr Abliege- und Rollverhalten (Burri et al., 2009,

Marchant et al., 2001, Andersen et al., 2005, Wischner et al., 2009a). Als Rollen werden dabei Bewegungen bezeichnet, die die Sauen in einer liegenden Position ausüben, indem sie sich vom Bauch auf die Seite, von der Seite in die Bauchlage oder von einer Seite auf die andere Seite rollen.

Im vorliegenden Artikel werden verschiedene Buchtensysteme mit Kurzzeitfixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb und mit komplettem Verzicht auf Fixierung der Sauen vorgestellt und im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf Erdrückungsverluste der Ferkel und Leistungsdaten der Sauen diskutiert. Die Buchtensysteme wurden in Einzelhaltungssystemen wie auch in Gruppenhaltungssystemen getestet. Die Daten, welche im Folgenden vorgestellt werden, wurden zwischen 2009 und 2017 auf dem Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein erhoben.

Kurzzeitfixierung - Bewegungsbuchten und Gruppenhaltung ‚GELAS‘

Die Kurzzeitfixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb ist in sogenannten Bewegungsbuchten durchführbar (Abbildung 1). Bewegungsbuchten ermöglichen den Ferkelschutzkorb manuell zu öffnen und zu schließen. Im geöffneten Zustand wird er zu einem vergrößerten Korb umgebaut, sodass die Sauen eine größere Fläche zur Verfügung haben, auf der sie sich freier bewegen und drehen können. Bewegungsbuchten besitzen meist eine benötigte Grundfläche von 6,0 bis 6,5 m². Der Vorteil dieser Buchten ist, dass der Ferkelschutzkorb nur während der Geburt und während der ersten Tage nach der Geburt verschlossen bleiben muss, in welchen die Ferkel noch schwächer und reaktionsärmer sind und somit ein erhöhtes Risiko haben erdrückt zu werden. Studien haben diesbezüglich gezeigt, dass 60-70 % der Erdrückungsverluste in den ersten drei Tagen nach der Geburt auftraten.

Die Ergebnisse der Bewegungsbuchten mit Einzelhaltung der Sauen im Abferkelbereich spiegeln drei Jahre Praxisbetrieb wider und geben somit einen realistischen Eindruck über die Funktionalität der Bewegungsbuchten (Tabelle 1). Die Sauen wurden eine Woche vor dem errechneten Abferkeltermin vom Wartebereich zum Abferkelbereich umgestallt. Der Ferkelschutzkorb wurde drei Tage vor dem Abferkeltermin bis vier Tage nach der Geburt der Ferkel verschlossen. Vor der Geburt und während der vierwöchigen Laktation konnten sich die Sauen im geöffneten Korb bewegen. Die Fixierungszeit der Sauen in den Bewegungsbuchten betrug somit sieben Tage. Hingegen wurden die konventionell gehaltenen Sauen mit permanenter Fixierung im Ferkelschutzkorb insgesamt fünf Wochen fixiert (eine Woche vor der Geburt bis vier Wochen nach der Geburt). Die Leistungsdaten zeigen, dass keine statistischen Unterschiede zwischen Sauen mit permanenter Fixierung und Sauen mit Kurzzeitfixierung im Ferkelschutzkorb bezüglich aller Leistungsparameter gefunden werden konnten. Mit durchschnittlich 15 lebendgeborenen Ferkeln betrugen die gesamten Saugferkelverluste in den Bewegungsbuchten 18 % und in der konventionellen Haltung 16 %. In den

Bewegungsbuchten lagen die Erdrückungsverluste bei 1,2 und in der konventionellen Haltung bei 1,0 Ferkeln pro Sau.



Abbildung 1

Bewegungsbucht, welche als freie Abferkelbucht im Projekt ‚Inno-Pig‘ genutzt wurde, indem diese permanent geöffnet war.

Foto: Charlotte G.E. Grimberg-Henrici

In der Gruppenhaltung ‚GELAS‘ mit Kurzzeitfixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb wurden die Sauen wiederum eine Woche vor dem errechneten Abferkeltermin vom Wartebereich in den Abferkelbereich umgestallt (Abbildung 2). Insgesamt wurden sechs Sauen in der Gruppenhaltung zusammen eingestallt und jeder Sau wurde eine Einzelbucht über einen Transponder zugeordnet. Die Sauen konnten zwischen ihrer Bucht und dem gemeinsamen Gruppenbereich frei wählen. Die Einzelbuchten der Gruppenhaltung waren mit einem Ferkelschutzkorb ausgestattet, in dem die Sauen drei Tage vor der Geburt bis einen Tag nach der Geburt fixiert wurden. Danach konnten die Sauen die Bucht über eine Schwelle verlassen, während die Ferkel in der Bucht verblieben. Am fünften Tag der Laktation wurden die Schwellen entfernt und die Ferkel konnten zusammen mit den Sauen den Gruppenbereich nutzen. Die Vergleichsgruppe stellte hier wieder die konventionelle Haltung mit permanenter Fixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb dar (eine Woche vor der Geburt bis vier Wochen nach der Geburt). Die Ergebnisse der Leistungsparameter ergaben, dass die Haltungsformen sich nicht unterschieden (Tabelle 1). Mit durchschnittlich 14 lebendgeborenen Ferkeln betrug die gesamten Saugferkelverluste in der Gruppenhaltung 17 % und in der konventionellen Haltung 15 %. In der Gruppenhaltung wurden 1,1 und in der konventionellen Haltung 0,7

Erdrückungsverluste pro Sau dokumentiert. Lediglich das Absetzgewicht der Ferkel unterschied sich zwischen den zwei Haltungsformen. Ferkel der Gruppenhaltung waren im Durchschnitt 600g leichter, verglichen mit den konventionellen Ferkeln. Dieser Gewichtsunterschied während der Laktation ist durch die erhöhte Bewegung der Ferkel in der Gruppenhaltung aufgrund des größeren Platzangebots und durch verpasste Saugakte zu erklären. Die Gewichts Differenz konnten die Ferkel in der Aufzucht und Mastphase aufholen.



Abbildung 2

Gruppenhaltung ‚GELAS‘ mit Kurzzeitfixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb und einem gemeinsamen Gruppenbereich (A-Individuelle Bucht via Transpondererkennung ausgestattet mit einem Ferkelschutzkorb; B-Ferkelstufe an der Bucht, welche verhindert, dass die Ferkel in den ersten fünf Tagen nach der Geburt in den Gruppenbereich gelangen; C-Gesamt Ansicht der Gruppenhaltung für sechs laktierende Sauen mit jeweils drei Buchten rechts und links und einem gemeinsamen Gruppenbereich in der Mitte).

Foto: Charlotte G.E. Grimberg-Henrici

Verzicht auf Fixierung - Freie Abferkelbucht und Gruppenhaltung ‚Inno-Pig‘

Im Rahmen des Projektes ‚Inno-Pig‘ wurde auf die Fixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb verzichtet und die Sauen wurden in sogenannten freien Abferkelbuchten gehalten. Die freien Abferkelbuchten ermöglichen den Sauen eine komplette Bewegungsfreiheit während der Geburt und in der Laktation. Freie Abferkelbuchten besitzen meist eine Grundfläche von 7,0 bis 7,5 m².

Die freien Abferkelbuchten in der Einzelhaltung waren permanent geöffnete Bewegungsbuchten (Abbildung 1). Die Sauen konnten sich im geöffneten Korb frei bewegen. Die Vergleichsgruppe stellten wieder die permanent fixierten Sauen der konventionellen Haltung dar (eine Woche vor der Geburt bis vier Wochen nach der Geburt). Die Sauen in den freien Abferkelbuchten wurden eine Woche vor dem errechneten Abferkeltermin vom Wartebereich in den Abferkelbereich umgestallt. Die Leistungsdaten zeigen deutlich erhöhte Saugferkelverluste bei den Sauen in den freien Abferkelbuchten, verglichen mit den Sauen der konventionellen Haltung (Tabelle 1). Mit durchschnittlich 18 lebendgeborenen Ferkeln betragen die gesamten Saugferkelverluste in den freien Abferkelbuchten 25 % und in der konventionellen Haltung 16 %. In den freien Abferkelbuchten wurden 2,5 und in der konventionellen Haltung 1,0 Ferkel pro Sau erdrückt.

In der Gruppenhaltung ‚Inno-Pig‘ mit komplettem Verzicht auf Fixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb wurden die Sauen wiederum eine Woche vor dem errechneten Abferkeltermin vom Wartebereich in den Abferkelbereich umgestallt (Abbildung 3). In der Gruppenhaltung wurden zehn Sauen zusammen eingestallt. Die Gruppenhaltung war mit freien Abferkelbuchten und einen Gruppenbereich ausgestattet. In dieser Gruppenhaltung war keine individuelle Erkennung der Sauen an den Buchten angebracht. Somit konnte jede Sau in jede Bucht gelangen. Die Sauen wurden zwischen dem dritten Tag vor der Geburt und dem sechsten Tag nach der Geburt in den freien Abferkelbuchten separiert. Am sechsten Tag der Laktation wurden die Buchten geöffnet und die Sauen und ihre Ferkel konnten sich in der gesamten Gruppenhaltung frei bewegen. Die Vergleichsgruppe stellte hier wieder die konventionelle Haltung mit permanenter Fixierung der Sauen im Ferkelschutzkorb dar (eine Woche vor der Geburt bis vier Wochen nach der Geburt). Die Leistungsdaten zeigen deutlich erhöhte Saugferkelverluste bei den Sauen in der Gruppenhaltung, verglichen mit den Sauen der konventionellen Haltung (Tabelle 1). Mit durchschnittlich 18 lebendgeborenen Ferkeln betragen die gesamten Saugferkelverluste in der Gruppenhaltung 26 % und in der konventionellen Haltung 17 %. In der Gruppenhaltung wurden 4,3 und in der konventionellen Haltung 1,1 Ferkel pro Sau erdrückt. Ferkel der Gruppenhaltung waren im Durchschnitt 900g leichter, verglichen mit den konventionellen Ferkeln. Dieser Gewichtsunterschied während der Laktation ist durch die erhöhte Bewegung der Ferkel in der Gruppenhaltung aufgrund des größeren Platzangebots und durch verpasste Saugakte zu erklären.



Abbildung 3

Gruppenhaltung ‚Inno-Pig‘ mit freien Abferkelbuchten und einem gemeinsamen Gruppenbereich (A-Freie Abferkelbucht mit kompletten Verzicht auf Fixierung; B-Gesamt Ansicht der Gruppenhaltung für zehn laktierende Sauen mit jeweils fünf Buchten rechts und links und einem gemeinsamen Gruppenbereich in der Mitte).

Foto: Charlotte G.E. Grimberg-Henrici

Tabelle 1

Korrigierte Mittelwerte der Leistungsparameter gehaltener Sauen mit Kurzzeitfixierung und kompletten Verzicht auf Fixierung im Vergleich mit konventionell gehaltenen Sauen mit permanenter Fixierung im Ferkelschutzkorb.

Kurzzeitfixierung im Ferkelschutzkorb

	Bewegungsbucht	Ferkelschutzkorb	Gruppenhaltung ,GELAS‘	Ferkelschutzkorb
	(nSauen=247)	(nSauen=1.640)	(nSauen=62)	(nSauen=62)
Lebendgeborene Ferkel / Sau	15,2	15,8	13,9	14,4
Totgeborene Ferkel / Sau	1,3	1,5	1,5	1,1
Geburtsgewicht (kg) / Ferkel	1,3	1,3	1,4	1,3
Absetzgewicht (kg) / Ferkel	7,7	7,7	7,1^a	7,7^b
Saugferkelverluste / Sau	2,7	2,5	2,4	2,1
Erdrückte Ferkel / Sau	1,2	1,0	1,1	0,7

Verzicht auf Fixierung im Ferkelschutzkorb

	Freie Abferkelbucht	Ferkelschutzkorb	Gruppenhaltung ,Inno-Pig‘	Ferkelschutzkorb
	(nSauen=57)	(nSauen=63)	(nSauen=62)	(nSauen=62)
Lebendgeborene Ferkel / Sau	17,5	18,1	17,1	18,3
Totgeborene Ferkel / Sau	1,0	1,3	1,6	1,2
Geburtsgewicht (kg) / Ferkel	1,2	1,2	1,2	1,2
Absetzgewicht (kg) / Ferkel	7,5	7,3	6,8^a	7,7^b
Saugferkelverluste / Sau	4,3^a	2,9^b	4,5^a	3,2^b
Erdrückte Ferkel / Sau	2,5^a	1,0^b	4,3^a	1,1^b

^{a-b} Signifikante Unterschiede zwischen den Haltungsformen ($p < 0.05$).

Fazit und Ausblick

Kurzzeitfixierung - Bewegungsbuchten

Sowohl in der Einzelhaltung als auch in der Gruppenhaltung ‚GELAS‘ waren die Saugferkelverluste der Kurzzeitfixierung der Sauen vergleichbar mit den Saugferkelverlusten der konventionellen Haltung. Die Fixierungszeit konnte gegenüber der fünfwöchigen Fixierungszeit in der konventionellen Haltung mit der Kurzzeitfixierung auf vier bis sieben Tage reduziert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Kurzzeitfixierung der Sauen ausreichend ist, um vergleichbare Leistungen wie mit der permanenten Fixierung zu erzielen. Daher sind Buchten mit Kurzzeitfixierung der Sauen für die Praxis derzeit interessant. Weitere Forschungen könnten klären, ob eine weitere Reduzierung der Fixierungszeit der Sau vor und nach der Geburt möglich wäre ohne die Saugferkelverluste zu erhöhen.

Verzicht auf Fixierung - Freie Abferkelbuchten

Im Hinblick auf die freien Abferkelbuchten wurden deutlich erhöhte Saugferkelverluste in der Einzelhaltung wie auch in der Gruppenhaltung ‚Inno-Pig‘ dokumentiert. Die permanent geöffneten Bewegungsbuchten in der Einzelhaltung, welche mit der Kurzzeitfixierung der Sauen sehr gute Ergebnisse erzielten, resultierten in deutlich erhöhten Saugferkelverlusten. Auch in den freien Abferkelbuchten in der Gruppenhaltung wurden deutlich erhöhte Erdrückungsverluste beobachtet. Aufgrund der fehlenden individuellen Erkennung an den Buchten mussten die Sauen bis zum sechsten Tag der Laktation zusammen mit ihrem Wurf in der Bucht separiert bleiben. Dies wurde praktiziert, um die Saugordnung und Sau-Ferkel-Beziehung nicht zu stören. In der Gruppenhaltung ‚GELAS‘ mit Kurzzeitfixierung konnten die Sauen hingegen mit Hilfe der individuellen Erkennung die Buchten schon einen Tag nach dem Abferkeln verlassen. Interessant wäre daher zu untersuchen, inwiefern Erdrückungsverluste in der Gruppenhaltung ‚Inno-Pig‘ mit den freien Abferkelbuchten reduziert werden könnten, wenn die Sauen die Buchten auch schon einen Tag nach der Geburt verlassen könnten.

Muttereigenschaften und Buchtendesgin

Die Ergebnisse der freien Abferkelbuchten zeigen, dass bei einem kompletten Verzicht auf Fixierung der Sauen Faktoren in den Vordergrund rücken, die bezüglich einer Kurzzeitfixierung und permanenten Fixierung der Sauen nur wenig Bedeutung haben. Einer der Faktoren, die in den freien Abferkelbuchten ein Problem darstellen, ist die Größe der Würfe. In der vorliegenden Untersuchung wurden bis zu 18 lebendgeborene Ferkel dokumentiert. Mit steigender Wurfgröße verringern sich die Geburtsgewichte der Ferkel, welche einen wichtigen Anteil zur Vitalität der Ferkel beitragen (Baxter et al., 2008). Besonders kleine Ferkel (<900g) haben ein erhöhtes Risiko nach der Geburt erdrückt zu werden, da diese meist schwächer und somit reaktionsärmer sind

und demzufolge Bewegungen der Sauen schlechter ausweichen können. Andere wichtige Faktoren sind die mütterlichen Eigenschaften der Sauen wie ihre Reaktion auf Ferkelsignale und ihr Abliege- und Rollverhalten. Da die Erdrückungsverluste insbesondere während der Positionswechsel der Sauen geschehen, ist eine erhöhte Rücksichtnahme der Sauen auf ihre Ferkel während der Positionswechsel besonders wichtig, um Erdrückungsverluste zu reduzieren (Weary et al., 1998, Weary et al., 1996, Danholt et al., 2011). Geringe Erdrückungsverluste werden mit Sauen assoziiert, welche die Buchtenwände zum Abliegen nutzen (Marchant et al., 2001) und während der Positionswechsel mehr Kontakt zu ihren Ferkeln haben (Marchant et al., 2001, Schmid, 1991). Hohe Erdrückungsverluste werden mit Sauen assoziiert, die sich häufiger frei ablegen und vermehrt Rollbewegungen durchführen (Wischner et al., 2009b). Das Abliege- und Rollverhalten der Sauen ist ein Zusammenspiel von Genetik und Umgebung und sollte besser aufeinander abgestimmt werden, um Erdrückungsverluste zu reduzieren.

Im Hinblick auf das Buchtendesign konnte in mehreren Studien beobachtet werden, dass die Buchtenstrukturierung eine große Rolle bei der Reduzierung der Saugferkelverluste spielt. Niedrige Saugferkelverluste konnten in freien Abferkelbuchten dokumentiert werden, die in einen Nest-, Liege- und Kotbereich unterteilt waren (Cronin et al., 2000, Weber, 2000, Baxter et al., 2015). Ein wichtiger Punkt ist, dass die Sauen den Nestbereich verlassen können und sich in der ersten Zeit nach der Geburt in einem ferkelfreien Bereich aufhalten können. Die freien Abferkelbuchten der vorliegenden Studie waren nicht in solche Bereiche unterteilt und besaßen auch keinen Bereich, in dem die Sauen sich ohne von ihren Ferkeln umgeben zu sein bewegen konnten. Als weiteren wichtigen Punkt zur Reduzierung von Erdrückungsverlusten haben Studien die Gabe von Nestbaumaterial herausgearbeitet. Bei Sauen mit niedrigen Saugferkelverlusten wurde eine hohe Motivation Nestbauverhalten auszuüben festgestellt (Andersen et al., 2005). Untersuchungen zeigen, dass domestizierte Sauen eine hohe Motivation besitzen, Nestbauverhalten zu pflegen und funktionale Nester zu bauen, welche vergleichbar sind mit Nestern von Wildschweinen (Stolba and Wood-Gush, 1989, Jensen, 1986).

Literatur

- ANDERSEN, I. L., BERG, S. & BØE, K. E. (2005) Crushing of piglets by the mother sow (Sus scrofa) - purely accidental or a poor mother? *Applied Animal Behaviour Science*, 93, 229-243.
- BAXTER, E. M., ADELEYE, O. O., JACK, M. C., FARISH, M., ISON, S. H. & EDWARDS, S. A. (2015) Achieving optimum performance in a loose-housed farrowing system for sows: the effects of space and temperature. *Applied Animal Behaviour Science*, 169, 9-16.
- BAXTER, E. M., JARVIS, S., D'EATH, R. B., ROSS, D. W., ROBSON, S. K., FARISH, M., NEVISON, I. M., LAWRENCE, A. B. & EDWARDS, S. A. (2008) Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology*, 69, 773-783.
- BOHNENKAMP, A. L., TRAULSEN, I., MEYER, C., MÜLLER, K. & KRIETER, J. (2013a) Comparison of growth performance and agonistic interaction in weaned piglets of different weight classes from farrowing systems with group or single housing. *animal*, 7, 309-315.
- BOHNENKAMP, A. L., TRAULSEN, I., MEYER, C., MÜLLER, K. & KRIETER, J. (2013b) Group housing for lactating sows with electronically controlled crates: 1. Reproductive traits, body condition, and feed intake. *Journal of animal science*, 91, 3413-3419.
- BURRI, M., WECHSLER, B., GYGAX, L. & WEBER, R. (2009) Influence of straw length, sow behaviour and room temperature on the incidence of dangerous situations for piglets in a loose farrowing system. *Applied Animal Behaviour Science*, 117, 181-189.
- CRONIN, G. M., LEFÉBURE, B. & MCCLINTOCK, S. (2000) A comparison of piglet production and survival in the Werribee Farrowing Pen and conventional farrowing crates at a commercial farm. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40, 17-23.
- DANHOLT, L., MOUSTSEN, V. A., NIELSEN, M. B. F. & KRISTENSEN, A. R. (2011) Rolling behaviour of sows in relation to piglet crushing on sloped versus level floor pens. *Livestock Science*, 141, 59-68.
- GRIMBERG-HENRICI, C. G. E., BÜTTNER, K., MEYER, C. & KRIETER, J. (2016) Does housing influence maternal behaviour in sows? *Applied Animal Behaviour Science*, 180, 26-34.
- JENSEN, P. (1986) Observations on the maternal behaviour of free-ranging domestic pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 16, 131-142.
- MARCHANT, J. N., BROOM, D. M. & CORNING, S. (2001) The influence of sow behaviour on piglet mortality due to crushing in an open farrowing system. *Animal science*, 72, 19-28.
- MILLIGAN, B. N., FRASER, D. & KRAMER, D. L. (2002) Within-litter birth weight variation in the domestic pig and its relation to pre-weaning survival, weight gain, and variation in weaning weights. *Livestock Production Science*, 76, 181-191.
- PEDERSEN, L. J., BERG, P., JØRGENSEN, G. & ANDERSEN, I. L. (2011) Neonatal piglet traits of importance for survival in crates and indoor pens. *J. Anim. Sci.*, 89, 1207-1218.
- SCHMID, H. (1991) Natürliche Verhaltenssicherungen der Hausschweine (Sus scrofa) gegen das Erdrücken der Ferkel durch die Muttersau und die Auswirkungen haltungsbedingter Störungen (Doctoral dissertation).
- STOLBA, A. & WOOD-GUSH, D. G. M. (1989) The behaviour of pigs in a semi-natural environment. *Animal Production*, 48, 419-425.

- WEARY, D. M., PAJOR, E. A., FRASER, D. & HONKANEN, A.-M. (1996) Sow body movements that crush piglets: a comparison between two types of farrowing accommodation. *Applied Animal Behaviour Science*, 49, 149-158.
- WEARY, D. M., PHILLIPS, P. A., PAJOR, E. A., FRASER, D. & THOMPSON, B. K. (1998) Crushing of piglets by sows: effects of litter features, pen features and sow behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, 61, 103-111.
- WEBER, R. (2000) Alternative housing systems for farrowing and lactating sows. *PUBLICATION-EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION*, 102, 109-116.
- WISCHNER, D., KEMPER, N. & KRIETER, J. (2009a) Nest-building behaviour in sows and consequences for pig husbandry. *Livestock Science*, 124, 1-8.
- WISCHNER, D., KEMPER, N., STAMER, E., HELLBRUEGGE, B., PRESUHN, U. & KRIETER, J. (2009b) Characterisation of sows' postures and posture changes with regard to crushing piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, 119, 49-55.

Bioaktive Substanzen zur Sicherstellung einer hohen Fettqualität in Fischen

Fickler, A.; Torno, C.; Schulz, C.

Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH

Futtermittel in der Aquakultur

Die Aquakultur ist immer noch einer der am schnellsten wachsenden Bereiche in der Tierproduktion. Der weltweite Ertrag aus Aquakultur konnte in den Jahren zwischen 2002 und 2014 fast verdoppelt werden und betrug 73,8 Millionen Tonnen im Jahr 2014 (FAO, 2016). Das schnelle Wachstum in der Fischproduktion führt zeitgleich zu einem steigenden Bedarf an geeigneten Fischfuttermitteln.

Der traditionell hohe Einsatz von Fischmehl und Fischöl in Fischfuttermitteln ist heutzutage aus Kosten- und Nachhaltigkeitsaspekten immer schwerer realisierbar. Obwohl der Aquakultursektor in der Vergangenheit stark gewachsen ist, ist die Produktion von Fischmehl und Fischöl, welche auf Wildfängen beruht, heute fast auf dem gleichen Niveau wie zu Beginn der 1970er Jahre. Durch die stagnierenden Produktionszahlen und die gleichzeitig steigende Nachfrage insbesondere nach Fischöl, kommt der Bereitstellung alternativer Rohstoffe immer größere Bedeutung zu. Als Folge wurde in den vergangenen Jahren großer Forschungsaufwand betrieben, bedarfsgerechte und kosteneffiziente Rohstoffe für den Einsatz in der Fischernährung zu erarbeiten. Dabei lag das Hauptaugenmerk aufgrund der Verfügbarkeit und der nutritiven Qualität auf pflanzlichen Produkten, wie z.B. Getreide, Leguminosen oder Hülsenfrüchten (New and Wijkström, 2002). Die nutritive Qualität pflanzlicher Produkte ist, neben anderen Gründen, insbesondere wegen der Fettqualität und Fettsäurezusammensetzung für die Ernährung von vielen Fischarten eingeschränkt. Der Grund hierfür ist ein mitunter hoher Bedarf der Fische an hochungesättigten, langkettigen Fettsäuren, welche hauptsächlich über die Nahrung bezogen werden.

Fettsäuren im Fisch und die endogene Fettsäuresynthese

Die Wichtigkeit der Aquakultur besteht nicht nur darin, dass Fische eine qualitativ hochwertige Proteinquelle sind, sondern dass sie für den Menschen eine der wenigen natürlichen Quellen von ungesättigten, langkettigen Fettsäuren sind (FAO, 2010; WHO, 2003; Williams and Burdge, 2006). Große Bedeutung wird den hochungesättigten Fettsäuren (HUFAs), insbesondere den beiden omega-3

Fettsäuren Eicosapentaensäure (EPA, 20:5n-3) und Docosahexaensäure (DHA, 22:6n-3), beigemessen, da sie sich beim Menschen positiv auf die Gesundheit auswirken (de Lorgeril and Salen, 2012; Tapiero et al., 2002). Der Gehalt und die Zusammensetzung der Fettsäuren im Fisch sind abhängig von der Fischart (Sargent et al., 2002), Umweltfaktoren, dem Entwicklungsstadium (Tocher, 2010) und korrelieren mit der Fettsäurezusammensetzung des Futters (Schulz et al., 2008; Skohberg et al., 1994). Fische benötigen Nahrungsfette und Fettsäuren für ihren Energiestoffwechsel, das Wachstum, die Membranfunktionalität, die Reproduktion und das Immunsystem (NRC, 2011). Der Bedarf der Fische an HUFAs, insbesondere EPA und DHA, wird durch das Angebot dieser HUFAs im Futter, sowie die Fähigkeit der Fische, diese Fettsäuren metabolisch zu modifizieren, bestimmt.

In der Nahrung von Salzwasserrfischen ist das natürliche Vorkommen von EPA und DHA hoch (Tocher, 2003). Somit ergibt sich für Salzwasserrfische keine Notwendigkeit EPA und DHA aus anderen Fettsäuren zu synthetisieren (Yamada et al., 1980). Evolutiv betrachtet haben Salzwasserrfische die Fähigkeit EPA und DHA zu synthetisieren verloren. Man weiß heutzutage, dass eine oder mehrere Stufen des Synthesewegs nicht funktionsfähig sind (Tocher, 2003). Im Umkehrschluss sind Salzwasserrfische deshalb auf die ausreichende Aufnahme von EPA und DHA über die Nahrung angewiesen (Tocher, 2010). Viele Süßwasserrfische hingegen werden über die natürlichen Nahrungsquellen mit vergleichsweise wenig HUFAs versorgt. Sie verfügen deshalb über ein höheres Potential, die Vorläuferfettsäure Alpha-Linolensäure (ALA, 18:3n-3) endogen zu EPA und DHA zu synthetisieren (Tocher, 2003; Yamada et al., 1980). Damit lässt sich erklären, dass bei Süßwasserrfischen, im Vergleich zu Salzwasserrfischen, der Bedarf an EPA und DHA geringer ist, wohingegen der Bedarf an ALA erhöht ist (Tocher, 2010).

Die Fettsäuresynthese ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie findet sowohl beim Menschen als auch beim Fisch überwiegend in den Leberzellen statt. Hierbei dient die essentielle Fettsäure ALA als Präkursor für die höher ungesättigten n-3-Fettsäuren EPA und DHA. Die Haupt-Enzyme, die daran beteiligt sind, sind Elongasen (ELOVL) und Desaturasen (FADS) (Ruxton et al., 2005). Zuerst wird ALA im glatten Endoplasmatischen Retikulum über die $\Delta 6$ -Desaturase (FADS2) um eine Doppelbindung zu 18:4n-3 (SDA) umgebaut. Anschließend erfolgt eine Elongation, wobei die Fettsäure um zwei C-Atome zu 20:4n-3 verlängert wird. Über diese Fettsäure und einen weiteren Desaturase-Schritt (mittels $\Delta 5$ -Desaturase, FADS1) wird EPA gebildet. Dieser Abschnitt, die Konversion von ALA zu EPA, ist der limitierende Schritt in der Biosynthese der Fettsäuren (Pawlosky et al., 2001). Anschließend erfolgen zwei weitere Elongationen zu 22:5n-3 bzw. 24:5n-3, sowie eine Desaturierung mittels $\Delta 6$ -Desaturase zu 24:6n-3. Die darauffolgende β -Oxidation findet im Peroxisom der Leberzellen statt. Das Endprodukt dieser Synthesereihe ist DHA (Buzzi et al., 1997, 1996; Sargent et al., 2002). Die Affinität der Desaturasen ist abhängig von der jeweiligen Fettsäurekategorie. So werden n-3-Fettsäuren vor n-6-Fettsäuren

und diese wiederum vor n-9 Fettsäuren bevorzugt synthetisiert (Sargent et al., 2002).

Die Fettsäuremengen in der Leber haben Einfluss auf die Enzyme der Fettsäuresynthese. So sind sowohl $\Delta 5$ - als auch $\Delta 6$ -Desaturase in geringerer Menge vorhanden, wenn ausreichend mehrfach-ungesättigte Fettsäuren wie ALA, EPA oder DHA über die Nahrung aufgenommen werden (Cho et al., 1999a, 1999b). Hierbei spricht man von einer negativen Rückkopplung der Enzymregulation durch diese Fettsäuren (Nakamura and Nara, 2004). Der hohe Gehalt an HUFAs in der Nahrung der Salzwasserrische führt zwangsläufig zu einer geringeren Eigensynthese von EPA und DHA aus ALA (Buzzi et al., 1996). Da Fischöl aus hohen Mengen HUFAs besteht (NRC, 2011), findet die negative Rückkopplung auch statt, wenn Fische mit Futter gefüttert werden, das viel Fischöl enthält. Dies wurde durch eine Studie mit Regenbogenforellen belegt. Die mit Fischöl gefütterte Gruppe wies im Vergleich zur Gruppe mit pflanzlichen Ölen eine geringere $\Delta 6$ -Desaturase-Aktivität auf, was wiederum bedeutet, dass ein Mangel an HUFAs (durch Einsatz von Pflanzenöl) zu einer Stimulation der HUFA-Synthese führt (Buzzi et al., 1996; Drew et al., 2007). Weitere Studien, die die Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung im Fisch in Abhängigkeit des Futtermittels untersuchen, bestätigen dies (Caballero et al., 2002; Mellery et al., 2015; Zheng et al., 2009).

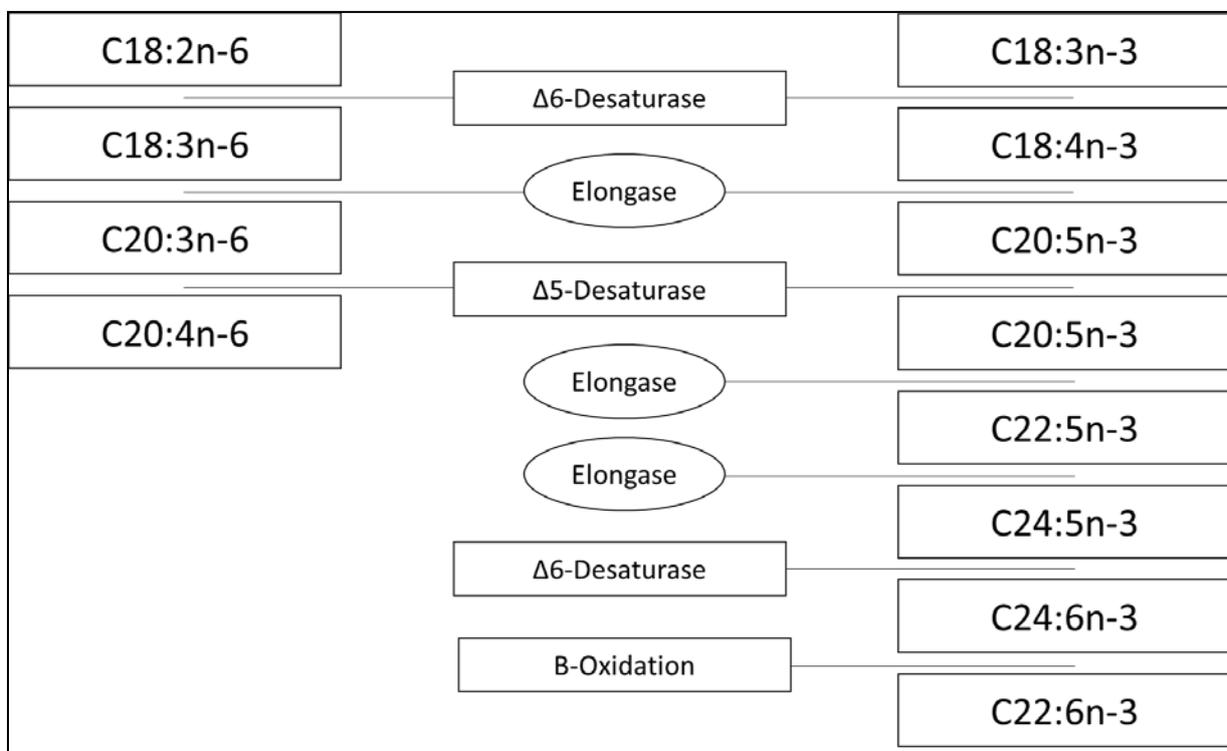


Abbildung 1: Endogene HUFA-Synthese in der Leber von (Süßwasser-) Fischen und Menschen.

Wie bereits beschrieben, beeinflusst die Fettsäurezusammensetzung des Futters die Gehalte der jeweiligen Fettsäuren im Fisch. Wobei eine Studie daraufhin deutet, dass die Forelle versucht, ein bestimmtes physiologisches Optimum an HUFAs zu erreichen bzw. zu halten (Greene and Selivonchick, 1990). So konnte in Studien mit Regenbogenforellen der Fischölanteil bis zu 100% durch pflanzliche Öle substituiert werden, ohne Wachstumseinbußen zu verzeichnen (Caballero et al., 2002; Richard et al., 2006). Gravierend waren aber die Auswirkungen der fischölfreien Diät auf die Gehalte an EPA und DHA im Fisch, welche deutlich reduziert waren und trotz gesteigerter endogener Synthese unter denen der mit Fischöl gefütterten Fische lag (Skohberg et al., 1994). Die Problematik der reduzierten Fettqualität von Fischen, die vorrangig mit pflanzlich basierten Diäten gefüttert wurden, ist Bestandteil vieler aktuellen Untersuchungen (Sprague et al., 2016; Tocher, 2015).

Bioaktive Substanzen im Fischfutter: Ergebnisse der aktuellen Studien

Ein interessanter Einsatzbereich der bioaktiven Substanzen ist die Beeinflussung der endogenen Fettsäuresynthese in Fischen, um mittels einer molekularen Modifikation mehr EPA und DHA im Aquakulturfisch zu erhalten (Caro et al., 2017; Faizan et al., 2013; Schiller Vestergren et al., 2012; Trattner et al., 2008). Über das Fischfutter gelangen die Substanzen in den Fisch und können dort ihre bioaktiven Eigenschaften im Zielgewebe, der Leber, entfalten. Aus den oben genannten Studien wissen wir, dass Genistein, Equol und Resveratrol potentiell gut geeignet sind, die Enzyme der Fettsäuresynthese zu beeinflussen. Um das Potential dieser bioaktiven Substanzen zu untersuchen, wurden zwei Experimente mit Regenbogenforellen als Modell-Süßwasserart durchgeführt.

Im ersten Versuch wurden zwei bioaktive Substanzen im Zusammenhang mit unterschiedlichen Ölzusammensetzungen der Futtermittel getestet. Die Kontrolldiäten enthielten entweder eine Mischung aus Fischöl und pflanzlichen Ölen (FV-C: 4,3% Fischöl) oder eine Mischung aus pflanzlichen Ölen (C-V: 0% Fischöl). Für die Experimentaldiäten wurden 0,15% Genistein (FV-G, V-G) bzw. 0,15% Equol (FV-EQ, V-EQ) hinzugefügt. Die Versuchsdauer betrug 52 Tage bei einer Durchschnittstemperatur von 15°C. Die Regenbogenforellen wurden täglich mit einer Futtermenge von 2% der Biomasse gefüttert. Beim Wachstum gab es keinen Effekt bei den Gruppen mit Genisteinzulage. Nur die FV-EQ-Futtergruppe wies signifikant niedrigere Werte im Vergleich zur Kontrollgruppe (FV-C) auf. In der V-Gruppe konnte dagegen kein Effekt der Equol-Applikation festgestellt werden. Auch gab es zwischen den Versuchsgruppen keinen signifikanten Einfluss der Futterzusammensetzung auf die Futtermittelverwertung und die Gesundheitsparameter (HSI, SSI). Deshalb kann gefolgert werden, dass weder die im Versuch verwendete Ölzusammensetzung noch die Zulage von 0,15% an bioaktiven Substanzen einen Einfluss auf die Performance der Fische hatten. Des Weiteren konnten Veränderungen im Fettsäuremuster der Fische festgestellt werden (Abbildung 2). Die FV-Gruppe erzielte sowohl im Ganzkörperhomogenat

als auch im Filet signifikant höhere Werte an EPA und DHA als die V-Gruppe. Dies lässt sich über die höheren Mengen dieser Fettsäuren im Futter der FV-Gruppe erklären. Besteht ein Mangel an EPA und DHA können Regenbogenforellen diese aus ALA synthetisieren, dies ist aber nur in begrenztem Ausmaß möglich und erreicht meist nicht die Gehalte, die durch Fischöleinsatz erzielt werden können. Andererseits wiesen die Gruppen FV-EQ, V-EQ und V-G im Vergleich zur jeweiligen Kontrollgruppe signifikant höhere DHA-Werte im Ganzkörperhomogenat auf. Im Filet konnte bei FV-G ein signifikant höherer DHA-Wert im Vergleich zu FV-C erzielt werden. Der durch die eingesetzten bioaktiven Substanzen höhere Gehalt an DHA lässt auf eine Modifikation der zugrundeliegenden Fettsäurebiosynthese schließen. Über welche Mechanismen dies geschieht, sollte mittels Genexpressionsanalyse und Messung der Menge der an der Synthese beteiligten Enzyme erforscht werden.

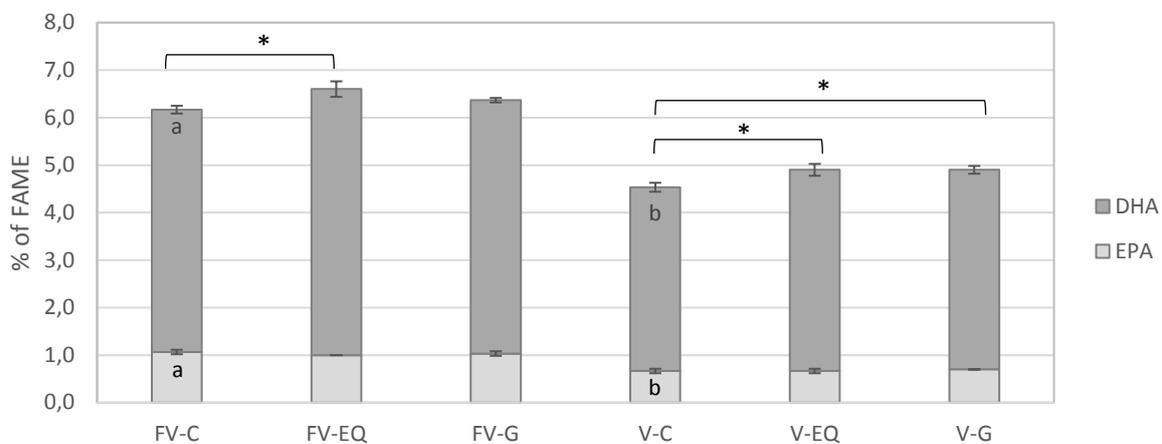


Abbildung 2: Relative EPA- und DHA-Gehalte im Ganzkörperhomogenat Regenbogenforellen nach 52 Tagen Fütterung mit den Experimentaldiäten FV-C, FV-EQ, FV-G, V-C, V-EQ und V-G. EQ und G stehen dabei für die Diäten, die mit 0,15% Equol (EQ) oder Genistein (G) supplementiert wurden. Mittelwerte mit Standardabweichung. Die Buchstaben zeigen einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) zwischen FV-C und V-C an. Der * zeigt einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) zwischen FV-C und FV-EQ und zwischen V-C und V-EQ bzw. V-G an.

Im zweiten Versuch wurden die beiden bioaktiven Substanzen Resveratrol und Genistein getestet. Die Regenbogenforellen wurden mit insgesamt sechs Experimentaldiäten gefüttert: Kontrolldiät (FV-C: 4% Fischöl), restriktive Diät (V-C: 0% Fischöl), beide Diäten supplementiert mit 0,3% Resveratrol (FV-RV und V-RV) und beide Diäten supplementiert mit 0,3% Genistein (FV-G und V-G). Nach der 2-monatigen Fütterung der Regenbogenforellen mit den Experimentaldiäten konnte eine Steigerung der HUFAs, insbesondere EPA und DHA, bedingt durch die Fütterung mit V-RV und V-G gezeigt werden. Im Vergleich zu der Kontrollgruppe (FV-C) waren die relativen Mengen von EPA

und DHA in der Gruppe V-G um 38% und in der Gruppe V-RV um 70% erhöht. Simultan dazu wurde die Menge des Enzyms $\Delta 6$ -Desaturase in den Lebern der Fische erhöht, insbesondere wenn die Kombination aus dem restriktiven Futter und Resveratrol (V-RV) gefüttert wurde (Abbildung 3). Die erhöhte Menge an $\Delta 6$ -Desaturase ist damit ein Indiz für eine Beeinflussung der molekularen Mechanismen der Fettsäuresynthese durch Resveratrol. Es scheint allerdings einen direkten Zusammenhang zu dem Gehalt an Fischöl im Futter der Fische zu geben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Reduzierung des Fischöls im Fischfutter und eine zeitgleiche Supplementierung mit Resveratrol zu einer Steigerung der Fettqualität der Regenbogenforellen führt und dass dieser Effekt maßgeblich durch eine erhöhte Menge des Enzyms $\Delta 6$ -Desaturase hervorgerufen wird.

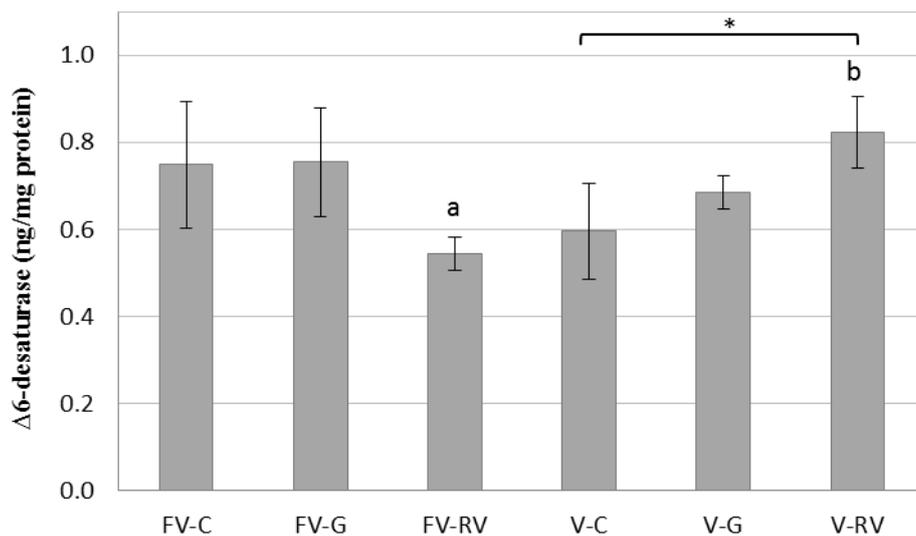


Abbildung 3: Menge des Enzyms $\Delta 6$ -Desaturase in der Leber der Regenbogenforellen nach der 2-monatigen Fütterung mit den Experimentaldiäten FV-C, FV-G, FV-RV, V-C, V-G und V-RV. Das G und das RV stehen dabei für die Diäten, die mit 0,3% Genistein (G) oder Resveratrol (RV) supplementiert wurden. Mittelwerte mit Standardabweichung. Die Buchstaben zeigen einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) zwischen FV-RV und V-RV an. Der * zeigt einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) zwischen V-C und V-RV an.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einsatz von bioaktiven Substanzen in Fischfuttermitteln keine wesentliche Beeinträchtigung des Wachstums, der Futterverwertung und der Gesundheit der Fische hervorruft. Im zweiten Versuch konnte die Erhöhung der EPA- und DHA-Gehalte im Gewebe der Fische nachweislich auf eine Steigerung der Enzymmenge der Fettsäurebiosynthese zurückgeführt werden.

Beide Versuche haben gezeigt, dass die eingesetzten bioaktiven Substanzen eine Verbesserung der Fettqualität von Regenbogenforellen bewirken. Dadurch kann Fischöl in den Futtermitteln eingespart werden, was zu einer nachhaltigeren Aquakulturproduktion und der Schonung natürlicher mariner Ressourcen beiträgt.

Literatur

- Buzzi, M., Henderson, R., Sargent, J., 1997. Biosynthesis of Docosahexaenoic Acid in Trout Hepatocytes Proceeds Via 24-Carbon Intermediates. *Comp. Biochem. Physiol. Part B Biochem. Mol. Biol.* 116, 263–267. doi:10.1016/S0305-0491(96)00210-6
- Buzzi, M., Henderson, R.J., Sargent, J.R., 1996. The desaturation and elongation of linolenic acid and eicosapentaenoic acid by hepatocytes and liver microsomes from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing fish oil or olive oil. *Biochim. Biophys. Acta - Lipids Lipid Metab.* 1299, 235–244. doi:10.1016/0005-2760(95)00211-1
- Caballero, M., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., Izquierdo, M.S., 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 214, 253–271. doi:10.1016/S0044-8486(01)00852-3
- Caro, M., Sansone, A., Amézaga, J., Navarro, V., Ferreri, C., Tueros, I., 2017. Wine lees modulate lipid metabolism and induce fatty acid remodelling in Zebrafish. *Food Funct.* doi:10.1039/C6FO01754A
- Cho, H.P., Nakamura, M., Clarke, S.D., 1999a. Cloning, expression, and fatty acid regulation of the human Delta-5 desaturase. *J. Biol. Chem.* 274, 37335–37339. doi:10.1074/Jbc.274.52.37335
- Cho, H.P., Nakamura, M.T., Clarke, S.D., 1999b. Cloning, Expression, and Nutritional Regulation of the Mammalian Delta-6 Desaturase. *J. Biol. Chem.* 274, 471–477. doi:10.1074/jbc.274.1.471
- de Lorgeril, M., Salen, P., 2012. New insights into the health effects of dietary saturated and omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. *BMC Med.* 10, 1–5. doi:10.1186/1741-7015-10-50
- Drew, M.D., Ogunkoya, A.E., Janz, D.M., Van Kessel, A.G., 2007. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 267, 260–268. doi:10.1016/j.aquaculture.2007.01.002
- Faizan, M., Stubhaug, I., Menoyo, D., Esatbeyoglu, T., Wagner, A.E., Struksnæs, G., Koppe, W., Rimbach, G., 2013. Dietary Alpha-Tocopherol Affects Tissue Vitamin E and Malondialdehyde Levels but Does not Change Antioxidant Enzymes and Fatty Acid Composition in Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 83, 238–245. doi:10.1024/0300
- FAO, 2016. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*. Rome.
- FAO, 2010. *Fats and fatty acids in human nutrition - Report of an expert consultation*. FAO, Rome, Italy.
- Greene, D.H.S., Selivonchick, D.P., 1990. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 89, 165–182. doi:10.1016/0044-8486(90)90308-A

- Mellery, J., Geay, F., Stas, C., Tocher, D.R., Kestemont, P., Rollin, X., Larondelle, Y., 2015. Does the water temperature influence the fatty acid metabolism of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a vegetable diet? *Comm. Appl. Biol. Sci* 80, 1–5.
- Nakamura, M.T., Nara, T.Y., 2004. Structure, Function, and Dietary Regulation of $\Delta 6$, $\Delta 5$, and $\Delta 9$ Desaturases. *Annu. Rev. Nutr.* 24, 345–376. doi:10.1146/annurev.nutr.24.121803.063211
- New, M.B., Wijkström, U.N., 2002. USE OF FISHMEAL AND FISH OIL IN AQUAFEEDS Further thoughts on the fishmeal trap. *FAO Fish. Circ.* 975, 1–61.
- NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. The National Academies Press, Washington, DC. doi:10.17226/13039
- Pawlosky, R.J., Hibbeln, J.R., Novotny, J.A., Salem, N., 2001. Physiological compartmental analysis of ω -linolenic acid metabolism in adult humans 42, 1257–1265.
- Richard, N., Kaushik, S., Larroquet, L., Panserat, S., Corraze, G., 2006. Replacing dietary fish oil by vegetable oils has little effect on lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Br. J. Nutr.* 96, 299–309. doi:10.1079/BJN20061821
- Ruxton, C.H.S., Calder, P.C., Reed, S.C., Simpson, M.J. a, 2005. The impact of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids on human health. *Nutr. Res. Rev.* 18, 113–129. doi:10.1079/NRR200497
- Sargent, J., Tocher, D., Bell, J., 2002. The lipids. *Fish Nutr.* (3rd Ed. 181–257. doi:10.1016/B978-012319652-1/50005-7
- Schiller Vestergren, A.L., Trattner, S., Pan, J., Johnsson, P., Kamal-Eldin, A., Brännäs, E., Moazzami, A.A., Pickova, J., 2012. The effect of combining linseed oil and sesamin on the fatty acid composition in white muscle and on expression of lipid-related genes in white muscle and liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquac. Int.* 21, 843–859. doi:10.1007/s10499-012-9511-y
- Schulz, C., Huber, M., Ogunji, J., Rennert, B., 2008. Effects of varying dietary protein to lipid ratios on growth performance and body composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*). *Aquac. Nutr.* 14, 166–173. doi:10.1111/j.1365-2095.2007.00516.x
- Skohberg, D., Rasco, B.A., Dong, F.M., 1994. Nutrient Metabolism Fatty Acid Composition of Salmonid Muscle Changes in Response to a High Oleic Acid Diet. *J. Nutr.* 1628–1638.
- Sprague, M., Dick, J.R., Tocher, D.R., 2016. Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006 – 2015. *Sci. Rep.* 6, 1–9. doi:10.1038/srep21892
- Tapiero, H., Nguyen Ba, G., Couvreur, P., Tew, K.D., 2002. Polyunsaturated fatty acids (PUFA) and eicosanoids in human health and pathologies. *Biomed. Pharmacother.* 56, 215–222. doi:10.1016/S0753-3322(02)00193-2
- Tocher, D.R., 2015. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and

- aquaculture in perspective. *Aquaculture* 449, 94–107. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.01.010
- Tocher, D.R., 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquac. Res.* 41, 717–732. doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x
- Tocher, D.R., 2003. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish. *Rev. Fish.* 11, 7–184.
- Trattner, S., Kamal-Eldin, A., Brännäs, E., Moazzami, A., Zlabek, V., Larsson, P., Ruyter, B., Gjøen, T., Pickova, J., 2008. Sesamin Supplementation Increases White Muscle Docosahexaenoic Acid (DHA) Levels in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed High Alpha-Linolenic Acid (ALA) Containing Vegetable Oil: Metabolic Actions. *Lipids* 43, 989–97. doi:10.1007/s11745-008-3228-8
- WHO, 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Geneva, Switzerland. doi:ISBN 92 4 120916 X ISSN 0512-3054 (NLM classification: QU 145)
- Williams, C.M., Burdge, G., 2006. Long-chain n–3 PUFA: plant v. marine sources. *Proc. Nutr. Soc.* 65, 42–50. doi:10.1079/PNS2005473
- Yamada, K., Kobayashi, K., Yone, Y., 1980. Conversion of Linolenic Acid to w3-highly Unsaturated Fatty Acids in Marine Fishes and Rainbow Trout 46, 0–2.
- Zheng, X., Ding, Z., Xu, Y., Monroig, O., Morais, S., Tocher, D.R., 2009. Physiological roles of fatty acyl desaturases and elongases in marine fish: Characterisation of cDNAs of fatty acyl $\Delta 6$ desaturase and elovl5 elongase of cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture* 290, 122–131. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.02.010

Der Energiebedarf von Milchkühen heutiger Rassen¹

A. Susenbeth

Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel

1. Einleitung

Neuere Untersuchungen zum Energieumsatz der Milchkuh sowie aktuelle Auswertungen älterer Datensätze zeigen, dass Änderungen an den von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 2001) angegebenen Bedarfswerten, insbesondere zur Erhaltung und Milchleistung, erforderlich erscheinen. Diese Werte wurden aus der Publikation im Jahr 1986 nahezu unverändert übernommen (GfE, 1986) und beruhen in wesentlichen Teilen auf den Arbeiten von Van Es (1975). Für mittlere Leistungsbereiche sind diese Änderungen ohne Belang, sie führen jedoch bei sehr hohen Leistungen zu einem geringeren geschätzten Energiebedarf. Grundlage für die hier vorgenommene Ableitung sind die Arbeiten von Agnew und Yan (2000), Agnew et al. (2003), Gruber et al. (2007) sowie Moraes et al. (2015). Da sowohl das Energielieferungsvermögen der Futtermittel bzw. der Ration als auch die jeweiligen Brennwerte der Nährstoffe der Milch von der Verwertung der Energie unabhängige Größen darstellen, lassen sich die notwendigen Änderungen in sinnvoller Weise nur auf der Stufe der Umsetzbaren Energie (ME) vornehmen. Damit wird auch sichergestellt, dass zukünftig sich neuere Erkenntnisse einerseits zu Fragen des Bedarfs, andererseits zu Fragen der Futterbewertung einfach berücksichtigen lassen, da mit der ME eine klare Trennung beider Bereiche vorgenommen wird. Eine weitere erforderliche Änderung betrifft die Bestimmung des Brennwertes der Milch, der aus den Gehalten an den drei Hauptnährstoffen berechnet werden sollte.

2. Leistungsunabhängiger Energiebedarf

Da der Erhaltungsumsatz am laktierenden Tier selbst nicht ermittelt werden kann (denn dieses müsste auf Erhaltungsniveau gefüttert werden), wird dieser Wert aus der linearen Beziehung zwischen ME-Aufnahme und Milchleistung (LE) durch Extrapolation geschätzt, wobei der Schnittpunkt mit der x-Achse (= ME-

¹ Dieser Beitrag basiert auf einem mit dem Ausschuss für Bedarfsnormen der GfE abgestimmten „Vorschlag zur Berechnung des Energiebedarfs der Milchkuh“ (Susenbeth, 19.02.2016)

Aufnahme) als Erhaltungsumsatz angesehen wird. Dies ist jedoch nicht korrekt, da dieser Wert auch andere Leistungen des Tieres wie Kau- und Verdauungsarbeit oder Bewegung einschließt. Der tatsächliche Erhaltungsbedarf ist deshalb niedriger als der Schnittpunkt mit der x-Achse. Es ist daher sinnvoll, diesen Wert als leistungsunabhängigen Energiebedarf (ME_i) zu bezeichnen und bei der Bedarfsermittlung auch in dieser Weise zu verwenden. Für diesen leistungsunabhängigen ME-Bedarf kann ein Wert von 0,64 MJ ME/kg metabolischer Körpergröße ($kg^{0,75}$) angenommen.

3. Energiebedarf für Milchbildung

Da heute die Milchinhaltsstoffe Protein, Fett und Laktose in der Regel bestimmt werden, sind Formeln, die nicht alle dieser 3 Inhaltsstoffe berücksichtigen, von geringerer Bedeutung. Der Brennwert der Milch (LE) wird aufgrund der Nährstoffgehalte der Milch und deren Brennwerte wie folgt berechnet, wobei zusätzlich im Mittel 20 kJ/kg Milch für den Gehalt an Zitronensäure anzusetzen sind:

$$LE \text{ (kJ/kg)} = 38,5 \times \text{Fett} + 24,2 \times \text{Protein [N} \times 6,38] + 16,5 \times \text{Laktose} + 20$$

(Gehalte in g/kg)

Der Energiegehalt einer energiekorrigierten Standardmilch mit Gehalten pro kg von 40 g Fett, 34 g Protein und 48 g Laktose beträgt folglich 3,175 MJ/kg. Die jeweiligen Brennwerte der Nährstoffe der Milch sowie der für diese Berechnung zutreffende N-Faktor für das Protein wurden aus folgenden Quellen abgeleitet: Bergner und Hoffmann, 1996; Blaxter, 1989; Mumm et al., 1970; Sjaunja et al., 1990; Souci et al., 1994 und Tyrrell und Reid, 1965. Es wird darauf hingewiesen, dass der Brennwert des Proteins für die Fraktion „Gesamt-N der Milch x 6,38“ gilt. Eine gesonderte Berücksichtigung des N aus Harnstoff darf somit nicht vorgenommen werden. Sowohl der N-Gehalt als auch der Brennwert des Reinproteins der Milch weichen von diesen Werten daher etwas ab. Für die Verwertung der ME für die Milchbildung (k_l) ist ein Wert von 0,67 zu unterstellen. Der ME-Bedarf pro kg energiekorrigierter Standardmilch beträgt daher 4,74 MJ.

4. Energiebedarf für weitere Leistungen

Der Bedarf für **Trächtigkeit** (ME_c) ist weiterhin aufgrund des Energieansatzes des trächtigen Uterus entsprechend Formel 1.4.5 und des Energieansatzes im Euter nach den Angaben der GfE (2001) sowie einer Verwertung der ME für die Trächtigkeit von 0,175 zu berechnen.

Auch für den Bedarf für **maternales Wachstum** (ME_g) ist bis zum Vorliegen neuerer Daten ein Energiegehalt des Lebendmassezuwachses in der 1. Laktation von 20 MJ/kg und für weitere Laktationen von 25 MJ/kg zu unterstellen. Die Verwertung der ME für maternales Wachstum ist der für Milchbildung gleichzusetzen. Bei energetischer Unterversorgung wird davon ausgegangen, dass die Energie der abgebauten Körpersubstanz mit einer Effizienz von 0,83 in Milchennergie transformiert wird. Die Berechnung des Bedarfs für maternales Wachstum in der 1. Laktation ist nur gültig bzw. zulässig für eine gesamte Laktationsperiode. Berechnungen für einzelne Laktationsabschnitte sollten nicht durchgeführt werden, da davon auszugehen ist, dass ein Gewichtszuwachs in der frühen Laktation nicht auftritt oder deutlich geringer ist und eine andere Zusammensetzung aufweist als in späteren Laktationsabschnitten. In diesem Zusammenhang sei auch darauf hingewiesen, dass die Berechnung eines Energiesaldos, d.h. der Differenz zwischen Energieaufnahme und dem berechneten Bedarf, für die erste Hälfte der Laktation zum Zwecke der Selektion von Tieren mit weiterem Milchleistung:Futteraufnahme-Verhältnis ein hohes Risiko in sich birgt, da Tiere mit einem solchen, jedoch nur vordergründig günstigen Verhältnis auch in größerem Umfang Körperfett mobilisieren.

Ein Energiebedarf für **Thermoregulation** dürfte nur in seltenen Fällen auftreten. Ein Bedarf für **Bewegung** ist nur bei Weidegang, insbesondere in bergigem Gelände, zu berücksichtigen.

5. Konsequenzen für die Fütterungspraxis und Schlussfolgerungen

(1) Der Energiebedarf pro kg energiekorrigierte Milch beträgt nun 4,7 MJ ME gegenüber einem Wert von 5,2 MJ ME (= 3,175 MJ LE/0,61) im NEL-System (GfE, 2001) und der leistungsunabhängige Energiebedarf einer 625 kg schweren Kuh 80 MJ gegenüber 60 MJ ME/d. Es ergeben sich damit höhere Werte für den Gesamtbedarf bei geringer Leistung, im Bereich von 30 bis 40 kg Milch führen beide Berechnungswege zu nur geringfügig unterschiedlichen Werten, während bei einer Leistung von 45 bis 50 kg Milch ein geringerer Energiebedarf ermittelt wird.² Dies hat zur Konsequenz, dass bei sehr hoher Milchleistung und begrenzter Futteraufnahme die relative Unterversorgung geringer ausfällt. Der geringere Energiebedarf macht auch einen geringeren Kraftfutteranteil in der Ration erforderlich, womit eine ausreichende Strukturversorgung leichter sicherzustellen ist.

² Die jeweiligen Differenzen zwischen den beiden Systemen hängen auch von der Annahme des k_i -Werts im NEL-System ab. Dieser Wert ist nicht konstant, sondern von der Umsetzbarkeit der Energie der Ration beeinflusst. Bei der Berechnung der Umsetzbarkeit ist jedoch nicht vom berechneten ME-Gehalt der Ration auszugehen, sondern vom tatsächlichen, bei dem die Verdaulichkeitsdepression durch eine hohe Futteraufnahme berücksichtigt ist.

(2) Der energetische Futterwert auf der Basis der ME ist von den Änderungen im Bedarf nicht betroffen. Das ist ein entscheidender Vorteil, sollten in Zukunft weitere Differenzierungen notwendig werden. Wollte man jedoch diese neuen Befunde auch in einem NEL-System berücksichtigen, müssten deren Futterwerte geändert werden. So weist z.B. eine Grassilage mit 10 MJ ME/kg TS nach dem aktuellen NEL-System 6,0 MJ NEL auf, und in einem an die neuen Befunde angepassten müsste nun der Energiewert 6,7 MJ NEL betragen. Hier wird die grundsätzliche Schwäche von NE-Systemen offenkundig, die eine Berücksichtigung von neuen Erkenntnissen im Bereich der Energieverwertung nicht ermöglichen, sondern eine Änderung der Futterwerte notwendig machen. Der Grund liegt in der nicht vorgenommenen Trennung zwischen den Verlusten über Kot, Harn und Methan, die das Energielieferungsvermögen eines Futtermittels bestimmen, und den davon weitgehend unabhängigen Wärmeverlusten, die bei der Verstoffwechslung (Verwertung) der Nährstoffe auftreten.

(3) Die Effizienz der Energieverwertung für die Milchbildung (k_1) ist als außergewöhnlich konstante Größe anzusehen, die weder von der Rationszusammensetzung noch vom Leistungsniveau beeinflusst wird. Auch Versuche, in denen der Effekt einer exogenen Wachstumshormonapplikation auf den Energiehaushalt von Kühen untersucht wurde, bestätigen diese Konstanz (Kirchgeßner et al. 1989). Damit ist die Effizienz der Energieverwertung für die Milchbildung als eine durch züchterische Maßnahmen nicht beeinflussbare Größe anzusehen. Die durch die neueren Befunde gezeigte Änderung im k_1 -Wert ist daher nicht genetisch bedingt, sondern durch die unterschiedliche Berücksichtigung nicht leistungsbedingter Energiebedarfe sowie durch die Art der mathematischen Auswertungsmethode der Versuchsdaten verursacht.

6. Zitierte Literatur

Agnew, R.E., Yan, T., 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science* 66, 197-215.

Agnew, R.E., Yan, T., Murphy, J.J., Ferris, C.P., Gordon, F.J., 2003. Development of maintenance energy requirement and energetic efficiency for lactation from production data of dairy cows. *Livestock Production Science* 82, 151-162.

Blaxter, K., 1989. *Energy metabolism in animals and man*. Cambridge University Press, Cambridge.

GfE, 2001. Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

GfE, 1986. Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 3. Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Gruber, L., Susenbeth, A., Schwarz, F.J., Fischer, B., Spiekens, H., Steingäß, H., Meyer, U., Chassor, A., Jilg, T., Obermaier, A., 2007. Evaluation of the German net energy system and estimation of the energy requirement of cows on the basis of an extensive data set from feeding trials. In: *Energy and protein metabolism and nutrition*. Ortigues-Marty, I. (ed.). EAAP Publ. No. 24, 563-564.

Kirchgeßner, M., Schwab, W., Müller, H.L., 1989. Effect of bovine growth hormone on energy metabolism of lactating cows in long-term administration. In: *Energy metabolism of farm animals*. Van der Honing, Y., Close, W.H. (compilers). EAAP Publ. No. 43, 143-146. Pudoc Wageningen.

Moraes, L.E., Kebreab, E., Strahte, A.B., Dijkstra, J., France, J., Casper, D.P., Fadel, J.G., 2015. Multivariate and univariate analysis of energy balance data from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98, 4012-4029.

Mumm, H., Kynast, S., Gussek, K.W., Kellermann, R., Wauschkuhn B., Konrad, H., Keller, W., 1970. Untersuchung von Milch, Milcherzeugnissen und Molkereihilfsstoffen. *Methodenbuch, Band VI*. (Hrsg. Schmitt, L.), Neumann Verlag.

Sjaunja, L.O., 1984. 24th Session of the International Committee for Recording the Productivity of Milk Animals (ICRPMA). Zitiert in: Nostitz, B., Mielke, H., 1995. Vergleich verschiedener Methoden der Bestimmung des Milchenergiegehaltes beim Schwarzbunten Milchrind. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 72, 9-18.

Sjaunja, L.O., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J., Setälä, J., 1990. Measurement of the total energy content of cow's milk and the energy value of milk fat and milk protein. Proceedings of the 27th Biennial Session of the International Committee for Animal Recording (ICAR). EAAP Publ. No. 50. S. 152-155.

Souci, S.W., Fachmann, W., Kraut, H., 1994. Food composition and nutrition tables. Medpharm Scientific Publisher, Stuttgart.

Tyrrell, H.F., Reid, J.T., 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. Journal of Dairy Science 48, 1215-1223.

Van Es, A.J.H., 1975. Feed evaluation for dairy cows. Livestock Production Science 2, 95-107.

Erzeugung resistenter Kulturpflanzen durch gezielte Modifikation des Genoms

Dirk Schenke und Daguang Cai

Institut für Phytopathologie,
Abteilung Molekulare Phytopathologie und Biotechnologie

Vor dem Hintergrund der drastischen Zunahme der Weltbevölkerung, dem verstärkten Auftreten von Schaderregern in Monokulturen und im Zuge des Klimawandels, ist es dringend notwendig, neue und innovative Resistenzen gegen abiotischen und biotischen Stress zu entwickeln. Widerstandfähige Sorten mindern krankheitsbedingte Ertrags- und Lagerverluste für den Landwirt und benötigen einen geringeren chemischen Pflanzenschutz. Die Kartoffel (*Solanum tuberosum*) ist weltweit nach Mais, Reis und Weizen die viertwichtigste Nahrungspflanze und findet darüber hinaus als nachwachsender Rohstoff für die Stärkeproduktion Verwendung. Bodenbürtige Erreger wie der Erreger der Kraut- und Knollenfäule, *Phytophthora infestans*, oder der Erreger des Kartoffelschorfs, *Streptomyces scabies*, stellen ein stetes Problem im Kartoffelanbau weltweit dar. Raps (*Brassica napus*) ist in Europa die bedeutendste Ölpflanze und wird zur Produktion von Speiseöl und als nachwachsender Rohstoff für die Biodieselherstellung, sowie für weitere industrielle Anwendungen angebaut. *V. longisporum* zählt ebenfalls zu den bodenbürtigen pilzlichen Pathogenen und ist in den letzten Jahren verstärkt im Rapsanbau aufgetreten. Je nach klimatischen und ackerbaulichen Bedingungen schwanken die möglichen Ertragsausfälle durch *V. longisporum*-Befall zwischen 10% und mehr als 20%. Eine direkte Bekämpfung des Pathogens durch Fungizide ist bisher nicht möglich und eine Ausweitung der Fruchtfolge zur Verhinderung der Infektion, beispielsweise aus Überdauerungsorganen (Mikrosklerotien) im Boden, ist aufgrund ökonomischer Gründe wenig praktikabel (Depotter et al., 2016). Seit Jahren wird weltweit nach Resistenzquellen für die Entwicklung *V. longisporum*-resistenter Rapsorten gesucht. Trotzdem findet sich keine effektive *V. longisporum*-resistente Sorte im deutschen Rapsortiment, und bisher konnten auch keine effektiven dominanten Resistenzgene identifiziert werden (Saal und Struss, 2005). Wie im Pathosystem Raps/*Verticillium* sind auch bei der Kartoffel keine dominanten Resistenzgene gegen *Streptomyces* bekannt. Außerdem ist die direkte Bekämpfung des Erregers im Boden nicht möglich und eine Erweiterung der Fruchtfolge stellt ebenfalls keine geeignete Bekämpfungsmethode dar (Loria et al., 2006).

Daher kommt der Resistenzzüchtung gegen *Phytophthora infestans* in Kartoffel und *Verticillium longisporum* in Raps eine große Bedeutung zu. Bisher wurden Verfahren der Mutagenese zur künstlichen Erzeugung neuer genetischer Variationen bereits erfolgreich in der Resistenzzüchtung eingesetzt und haben gezeigt, dass Mutationen von denjenigen Wirtsgenen, welche dem Pathogen beim erfolgreichen Befall ihrer Wirtspflanze nützlich sind (sogenannte Anfälligkeits-, bzw. Suszeptibilitätsgene), eine verbesserte Resistenz gegenüber diesem bewirken können. Viele Schädlinge manipulieren nämlich ihre Wirtspflanzen und bringen diese so dazu, Gene anzuschalten, die ihnen selbst nützen, z.B. mehr Nährstoffe für den Erreger zur Verfügung stellen. Verliert ein solches „Anfälligkeits-Gen“ durch Mutation aus oder wird dessen Manipulation durch den Schädling verhindert, so hat es dieser im Endeffekt schwerer, die Pflanze zu befallen (Abb. 1).

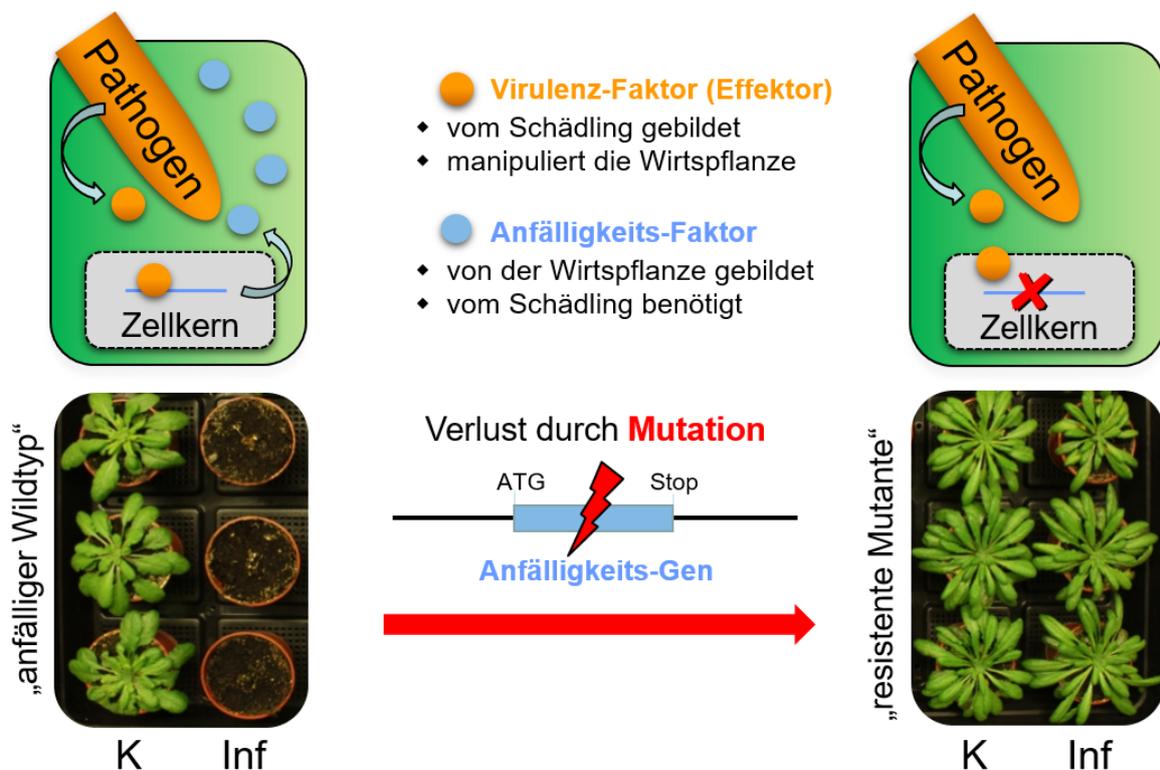


Abbildung 1: Durch Mutation kommt es zum Verlust von Anfälligkeitsfaktoren, welche durch den Schädling in der Wirtspflanze zu seinem eigenen Nutzen exprimiert werden. Fehlt ein solches Gen, wie hier bei der Arabidopsis Mutante auf der rechten Seite gezeigt, so kann der Schädling *Verticillium longisporum* (Inf) diese nicht mehr erfolgreich befallen. „K“ zeigt jeweils die nicht-infizierten Kontrollen.

Ein Paradebeispiel für einen Anfälligkeitsfaktor stellt das mutierte Mlo-Allel in Gerste dar, wodurch bereits seit mehreren Jahrzehnten eine stabile Resistenz gegenüber dem Mehltau *Blumeria graminis f. sp. hordei* besteht (Bueschges et

al., 1997). Solch interessante Mutationen in der Natur oder einer künstlich mutagenisierten Population zu finden erwies sich in der Vergangenheit jedoch oft als die sprichwörtliche Suche nach der Nadel im Heuhaufen - zumal viele Kulturpflanzen sehr komplexe Genome mit mehreren Gen-Kopien besitzen. So kann man in der Kartoffel und im Raps davon ausgehen, dass es von jedem Gen mindestens vier Kopien gibt. Damit man aber einen Verlust der Genfunktion erreichen kann, müssen meist alle Kopien mutiert werden und dies ist bisher durch künstliche Zufallsmutagenese nicht zu erreichen gewesen. Hinzu kommt, dass das Durchmustern einer z.B. EMS-mutagenisierten Population mittels TILLING (Targeted Induced Local Lesions in Genomes) zwar einen nicht-transgenen Ansatz für die gezielte Geninaktivierung im Pflanzengenom darstellt (Harloff et al. 2012), aber auch sehr aufwändig ist. Außerdem hat diese Methode den Nachteil, dass es einen ungeheuren Kollateralschaden durch unerwünschte Mutationen in wichtigen Genen gibt (sogenannte off-target Effekte), welche der Züchter mit hohem Zeitaufwand wieder herauskreuzen muss.

Vor einigen Jahren entdeckte nun ein Team um Prof. Emanuelle Charpentier und Prof. Jennifer Doudna, dass sich ein Mechanismus des bakteriellen Immunsystems auch in höheren Organismen eignet, um ganz gezielt die Erbsubstanz DNA an definierter Stelle zu schneiden (Doudna & Charpentier, 2014). Dies löste nach nur drei Jahren die zu diesem Zeitpunkt populären TALEN (Transcription Activator-Like Effector Nucleases) als Methode der Wahl zum „Genome Editing“ ab. Seit 2013 wird die neue und relativ einfach zu handhabende Technik „CRISPR/Cas“ bereits in vielen Laboren angewandt und die Publikationen zu diesem Thema nehmen rasant zu. TALEN galten zwar als spezifischer, aber inzwischen wurde das CRISPR/Cas-System so weiterentwickelt (sogenannte „Nickasen“), dass auch mit diesem die DNA an genau definierter Stelle geschnitten werden kann und off-target Effekte im Prinzip auszuschließen sind. Daher kann diese Technik gerade in der Pflanzenzüchtung eine große Hilfe darstellen, da sich prinzipiell jedes pflanzliche Gen mutieren lässt, insbesondere die Anfälligkeitsgene, welche auch dem Krankheitserreger dienen. Die Mutationen kommen durch die in der Regel fehlerhafte Reparatur der Doppelstrangbrüche (DSB) zustande und resultieren in erster Linie in kleinen Insertionen oder Deletionen (InDels), welche zu Leseraster-Verschiebungen führen. Dieser Mechanismus wird „Non-homologous End Joining“ (NHEJ, Nicht-homologe Verknüpfung von DNA-Enden) genannt. In Gegenwart einer Reparaturvorlage kann die Reparatur jedoch auch sehr genau erfolgen, indem einfach ein Austausch stattfindet. So kann man ganz gezielt einzelne Bausteine der DNA austauschen, also Basengenau mutieren (Single Nucleotide Polymorphism, SNPs). Dies geschieht durch die „Homology Directed Repair“ (HDR, Homologie-vermittelte Reparatur). Diese beiden Möglichkeiten sind in Abbildung 2 dargestellt, welche

aber bei weitem nicht das gesamte Anwendungsspektrum von CRISPR/Cas umfasst.

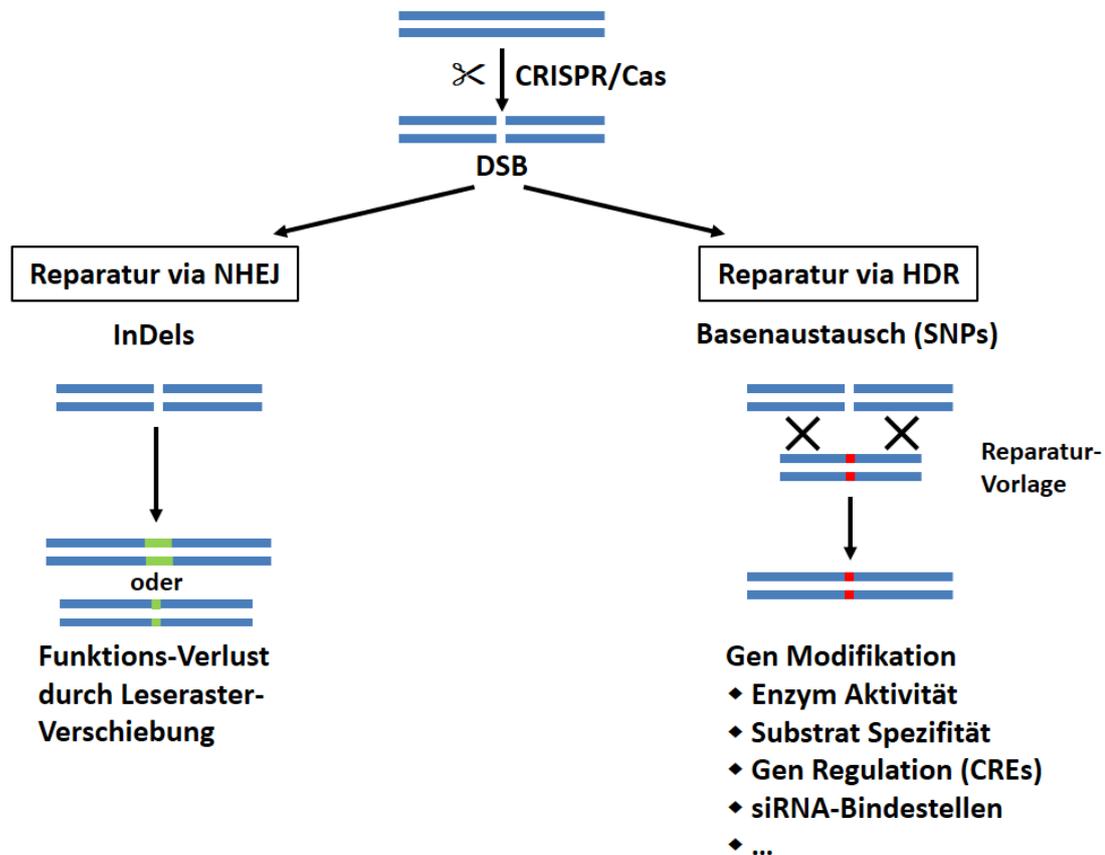


Abbildung 2: Je nach Art der Reparatur können die Mutationen eher zufällig (links), oder exakt nach Wunsch (rechts) erfolgen.

Um die Genschere allerdings gezielt einsetzen zu können, muss man erst einmal diejenigen Gene identifizieren, welche durch eine Mutation wahrscheinlich eine erhöhte Resistenz bewirken könnten. Damit einher geht außerdem die Notwendigkeit das Genom der Kulturpflanze zu kennen, damit man auch alle Kopien eines Gens gleichermaßen ansteuern kann. Die Kenntnis des Erregergenoms ist optional und kann helfen, kleine RNAs (siRNAs) des Schädling zu identifizieren, welche in der Wirtspflanze Schaden anrichten können (Weiberg et al., 2013). Durch gezielte Mutation an diesen Stellen kann dies verhindert werden.

Durch die Entschlüsselung des Kartoffel- (PGSC, 2011) und Rapsgenoms (Chalhoub et al. 2014) ist bereits eine Voraussetzung für die Anwendung von CRISPR/Cas geschaffen und durch unsere Experimente wissen wir, welche Gene im Raps z.B. durch eine Infektion mit *Verticillium longisporum* anders reguliert werden. Hierzu wurden einige Pflanzen infiziert, während andere als Kontrolle dienen. So kann man durch Vergleich beider Pflanzengruppen

feststellen, welche Gene durch die Infektion an- oder abgeschaltet werden. Das sind dann mögliche Kandidatengene, die für eine nähere Analyse in Frage kommen. Besonders interessant sind dabei potentielle Anfälligkeitsgene oder herunterregulierte Resistenzgene. Die endgültige Auswahl eines Kandidatengens ist aber nicht einfach und mit vielfältigen bioinformatischen Analysen verknüpft. Dies wird auch als „funktionale Genomik“ bezeichnet (Abb. 3).

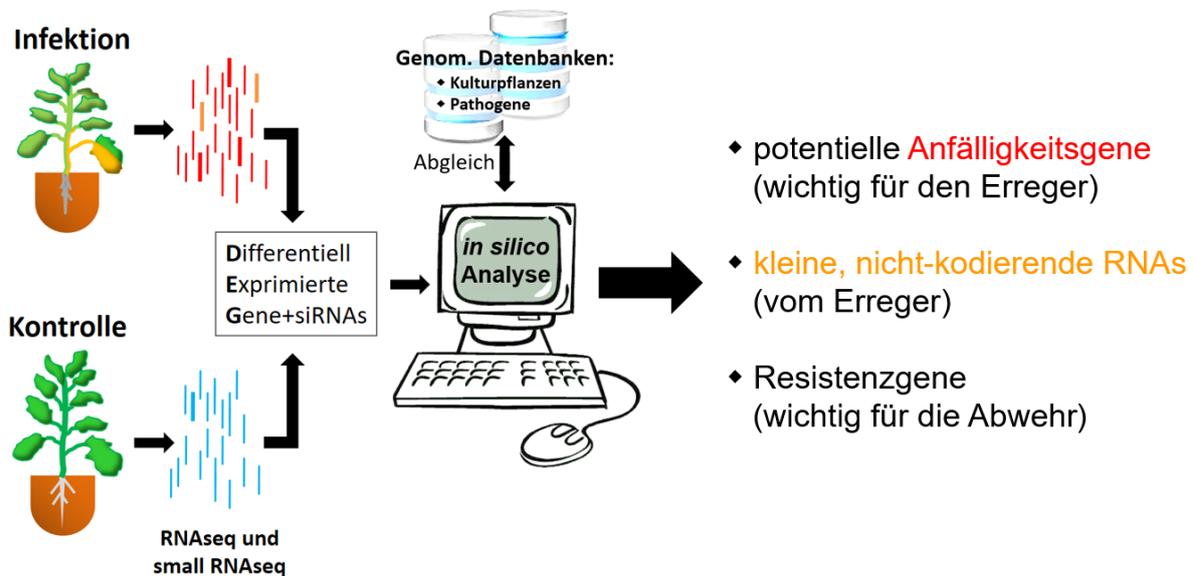


Abbildung 3: Identifikation potentieller Anfälligkeitsgene durch funktionale Genomik.

Anschließend kann der Versuch unternommen werden, durch einen Schnitt mit der Genschere ein solches Anfälligkeitsgen auszuschalten. Hatte das Gen tatsächlich eine wichtige Funktion für den Erreger, so wird die Pflanze diesem gegenüber nun toleranter sein. Wenn die Pflanze dann hinsichtlich Ertrag und Qualität keine Einbußen zeigt, so wird der Züchter mit dem Ergebnis bereits zufrieden sein und muss nur noch das Konstrukt mit der Genschere aus der neuen Sorte herauskreuzen. Aber das ist nur die einfachste Art, die Genschere anzuwenden. Ein Anfälligkeitsgen einfach auszuschalten kann natürlich auch Nebenwirkungen auf die Entwicklung der Pflanzen oder ihre Erträge haben. Die etwas kompliziertere Art ist, die Genschere so zu nutzen, dass eine genaue Reparatur des Schnitts erfolgt. Dazu benötigt die Pflanze zusätzlich eine Reparaturvorlage und dann wird der Schnitt im besten Fall durch den Einbau dieser Vorlage repariert. Dies ist der Königsweg, denn er ermöglicht die gezielte Änderung einer Sequenz ohne negative Konsequenzen für die Pflanze, aber mit enormen Auswirkungen auf den Schädling. Stellt man sich z.B. die Sequenz eines Gens wie ein Wort aus Buchstaben vor, kann man sich die „Dialekte“ des genetischen Codes nutzbar machen, um ein Wort minimal umzuschreiben. Durch den Austausch nur dreier Buchstaben kann man z.B. die fiktive

Anweisung „SEMMERL“ in der Pflanze in „WECKERL“ umschreiben. Der Schädling erkennt diesen Dialekt nicht und kann die Wirtspflanze nun nicht mehr an dieser Stelle manipulieren, während für die Pflanze die Funktion ein Brötchen herzustellen erhalten bleibt. Hat man also nur wenige Buchstaben ausgetauscht und die Genschere nach ihrer Arbeit wieder aus der Pflanze entfernt, so kann auch niemand mehr sagen, ob der Austausch künstlich herbeigeführt oder durch natürliche Mutation entstanden ist. Diese Pflanzen sind aus wissenschaftlicher Sicht nicht mehr transgen, denn es bleiben keinerlei Fremdgene, z.B. Resistenzgene, in der Pflanze zurück.

Natürlich erlaubt diese Reparatur aber auch, artfremde Gene an genau definierten Stellen einzufügen. Das passierte mit früheren Methoden zufällig und war ebenfalls mit leichteren Kollateralschäden verbunden, die man jetzt vermeiden kann. Nun kann man auch besonders aktive Regionen im Genom für die Integration von Fremdgenen aussuchen, so dass sie ihre Effekte besser entfalten können. Der „Sprachschatz“ der Pflanze erweitert sich sozusagen um ein neues Wort, aber die Pflanze muss nun als transgen betrachtet werden und stellt einen gentechnisch veränderten Organismus (GVO) dar.

Im Rahmen eines Pilotprojektes in der Abteilung Molekulare Phytopathologie und Biotechnologie versuchen wir nun, die Genschere CRISPR/Cas im Raps und der Kartoffel nutzbar zu machen. Dazu haben wir potentielle Anfälligkeitsgene im Raps identifiziert und deren Funktion bereits in der Modellpflanze Arabidopsis bestätigt (siehe auch Abb. 1). Nun versuchen wir, die beobachtete erhöhte Resistenz auch im Raps zu erzeugen. Dazu wurde zuerst eine konventionell erzeugte Population mutagenisierter Rapspflanzen mittels TILLING untersucht, und wir konnten bereits für einige dieser Gene eine erhöhte Resistenz gegenüber *Verticillium longisporum* bestätigen. Nun sollen diese Ergebnisse mit der Genschere CRISPR/Cas9 reproduziert werden, um die durch die ungerichtete EMS Mutagenese hervorgerufenen Nebeneffekte zu umgehen. Wir haben dazu ein Genom-optimiertes und flexibles Vektorsystem entwickelt, welches eine effiziente und akkurate Mutagenese unserer Zielgene im Raps und der Kartoffel ermöglicht. Darüber hinaus nutzen wir mit „hairy roots“ ein Testsystem, das einen schnellen Test der Funktionalität unserer Konstrukte und damit deren Optimierung erlaubt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass durch unsere Genscheren aktiv in Kartoffel, Raps und auch Zuckerrübe eine Reihe von unterschiedlichen Mutationen in den Zielgenen erzeugt werden konnten, sodass wir nun in der letzten Projektphase diese Pflanzen auf erhöhte Resistenz testen können.

Dieses Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B0033C ermöglicht und erfolgt in Zusammenarbeit mit Dr. Steffen Rietz von der NPZ Innovation GmbH und Dr. Friedrich Kauder und Dr. Jens Lübeck von der Solana Research GmbH.

Literatur

- Büschges R, Hollricher K, Panstruga R, Simons G, Wolter M, Frijters A, van Daelen R, van der Lee T, Diergaarde P, Groenendijk J, Töpsch S, Vos P, Salamini F and Schulze-Lefert P (1997) The barley Mlo gene: a novel control element of plant pathogen resistance. *Cell*. 88(5), 695-705.
- Chalhoub B et al. (2014) Plant genetics. Early allopolyploid evolution in the post-Neolithic *Brassica napus* oilseed genome. *Science*. 345(6199), 950-953.
- Depotter, J.R., Deketelaere, S., Inderbitzin, P., von Tiedemann, A., Höfte, M., Subbarao, K.V., Wood, T.A. and Thomma, B.P. 2016. *Verticillium longisporum*, the invisible threat to oilseed rape and other Brassicaceous plant hosts. *Mol Plant Pathol*. 17:1004-1016.
- Doudna J.A. & Charpentier E. (2014) Genome editing. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*. 346(6213):1258096
- Harloff HJ, Lemcke S, Mittasch J, Frolov A, Wu JG, Dreyer F, Leckband G and Jung C. (2012) A mutation screening platform for rapeseed (*Brassica napus* L.) and the detection of sinapine biosynthesis mutants. *Theor Appl Genet*. 124(5), 957-969.
- Loria R, Kers J and Joshi M (2006) Evolution of plant pathogenicity in *Streptomyces*. *Annu Rev Phytopathol*. 44, 469-487.
- PGSC (2011) Genome sequence and analysis of the tuber crop potato. *Nature* 475, 189-195.
- Saal B and Struss D (2005) RGA- and RAPD-derived SCAR markers for a *Brassica B*-genome introgression conferring resistance to blackleg in oilseed rape. *Theor Appl Genet*. 111(2), 281-90.
- Weiberg A., Wang M., Lin F.-M., Zhao H., Zhang Z., Kaloshian I., Huang H.-D. and Jin H. (2013) Fungal small RNAs suppress plant immunity by hijacking host RNA interference pathways. *Science (New York, N.Y.)* 342, 118–123.

Auswirkungen temporärer Überstauung auf Ertrag und Nährstoffzusammensetzung von Weizen und Raps

Anna-Catharina Wollmer und Karl H. Mühling

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

1. Einleitung

Aufgrund von klimatischen Veränderungen nehmen in Deutschland Starkregenereignisse und ergiebiger Dauerregen zu (Umweltbundesamt, 2017). Diese Ereignisse führen oftmals zu staunassen Böden und Überflutung und haben damit erhebliche Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion. Vorhersagen zeigen, dass diese extremen Wetterlagen in Zukunft weiter zunehmen werden und besonders in kritischen Phasen der Bestandesentwicklung auftreten, wie z. B. im Herbst nach dem Auflaufen der Saat oder im Frühjahr zu Vegetationsbeginn.

Im Boden führt Staunässe zu Sauerstoffmangel, da der Gasaustausch aufgrund der mit Wasser gefüllten Bodenporen gehemmt ist. Hierdurch verändern sich die Redoxverhältnisse im Boden, was in signifikanten Veränderungen der Bodenchemie resultiert. So führen beispielsweise die veränderten Bodeneigenschaften zur Reduktion von Mangan- und Eisenoxiden und erhöhen damit deren Löslichkeit. Weiterhin wird unter sauerstoffarmen Bedingungen die Denitrifikation gefördert, wodurch gasförmige Stickstoff (N)-Verluste in Form von Lachgas (N_2O) entstehen, welche in hohem Maße klimarelevant sind. Neben den N-Verlusten durch die Denitrifikation ist das Risiko für N-Auswaschungen durch Staunässe deutlich erhöht, was zu erheblichen Verlusten an pflanzenverfügbarem Stickstoff führen und damit zu Nährstoffmängeln beitragen kann.

In der Pflanze beeinträchtigt der Sauerstoffmangel aufgrund des fehlenden Gasaustausches zwischen Pflanzenwurzeln und Atmosphäre den gesamten Stoffwechsel (Setter und Waters, 2003). Durch den fehlenden Sauerstoff wird die Wurzelatmung gehemmt, wodurch nicht mehr ausreichend Energie für die Aufrechterhaltung der Stoffwechselvorgänge zur Verfügung steht (Bailey-Serres und Voesenek, 2008). Wasser- und Nährstoffaufnahme und -transport sind gehemmt und es treten Nährstoffmängel auf, die Wachstum und Entwicklung

einschränken (Steffens et al., 2005). In der Folge kommt es zu starken Ertrags- und Qualitätseinbußen.

2. Versuchsfrage/Zielsetzung

In der Pflanzenproduktion führt die Zunahme von Extremwetterlagen, insbesondere von Stark- und Dauerregen, zu einem erhöhten Ertragsrisiko für die Landwirte. Bisher sind die Ertragsverluste durch solche Ergebnisse für die Landwirte nicht kalkulierbar, da keine ausreichende Datengrundlage zu Ertragsverlusten durch Staunässe unter hiesigen klimatischen Bedingungen und Sorten vorhanden ist. Die Durchführung solcher Versuche unter Feldbedingungen gestaltet sich schwierig, da Unwetter zufällig und unregelmäßig auftreten und die Versuchsbedingungen daher nicht steuerbar sind. Aus diesem Grund wurden in dem hier beschriebenen Versuch Großcontainer zur Simulation von feldnahen Bedingungen verwendet.

Die Vorteile der Großcontainer bestehen darin, dass Getreide mit gleichen Aussaatstärken wie auf dem Feld eingesät werden kann und durch das große Bodenvolumen und die Tiefe, die Pflanzenwurzeln nahezu ungehindert wachsen können. Außerdem ist es möglich, Staunässeperioden zeitlich zu sensiblen Entwicklungsstadien einzustellen.

Ziel dieser Arbeit war es zu klären, wie sich Staunässe auf die Nährstoffzusammensetzung und den Ertrag der Kulturpflanzen Winterweizen und Winterraps in verschiedenen Entwicklungsstadien auswirkt.

3. Material und Methoden

Zur Klärung der Versuchsfrage wurden zwei Winterweizensorten und eine Winterrapsorte in Großcontainern unter kontrollierten Bedingungen angezogen und zu zwei unterschiedlichen Entwicklungsstadien für zwei Wochen überstaut.

Die Anzucht erfolgte in einem Kaltgewächshaus (ohne zusätzliche Lichtquellen und Temperatursteuerung), um eine exakte Versuchssteuerung ohne natürliche Regenereignisse zu gewährleisten. Bei den verwendeten Großcontainern konnte der Wasserablauf über installierte Ablasshähne reguliert werden, so dass eine gezielte Überstauung zu sensiblen Entwicklungsstadien möglich war. Die Container wurden mit Boden (sandiger Lehm, pH 5,8), der vom Versuchsgut

Hohenschulen der CAU Kiel stammte, gefüllt. Die Befüllung der Container erfolgte schichtweise. Zur Simulation einer natürlichen Bodendichte wurde der eingefüllte Boden manuell auf eine Lagerungsdichte von ca. $1,4 \text{ g/cm}^3$ verdichtet. Im Winter erfolgte die Bewässerung nach Bedarf. Im Frühjahr wurde eine konstante Bewässerung auf 60% maximaler Wasserhaltekapazität (WK_{max}) eingestellt. Diese wurde durch tägliches Wiegen mit einem Hubwagen mit Waagefunktion und Ergänzung der fehlenden Wassermenge sichergestellt. In diesem Zuge erfolgte eine Randomisierung der Container. Die Düngung der Container und die Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten nach praxisüblichen Aufwandmengen und nach Bedarf.

Im Oktober 2015 wurden die Winterweizensorten JB Asano und Kredo mit einer Aussaatstärke von 400 m^{-2} in die Container gesät. Durch Vereinzeln und Probenahmen wurden letztendlich $250 \text{ Pflanzen m}^{-2}$ geerntet. Der Winterraps Avatar wurden mit einer Aussaatstärke von $125 \text{ Körnern m}^{-2}$ ausgesät. Vereinzeln und Probenahmen nach den Staunässeperioden führten zu einer Ernte von entsprechend $50 \text{ Pflanzen m}^{-2}$.

Zur Simulation der Überstauung wurde der Versuch in drei Varianten mit je drei bis fünf Wiederholungen gegliedert. Variante 1 diente als Kontrolle und wurde während des gesamten Versuchszeitraums konstant auf 60 % WK_{max} bewässert. Variante 2 wurde ab EC 31 für zwei Wochen überstaut (105 % WK_{max}). Nach zwei Wochen wurde das Wasser abgelassen und der Boden wurde auf 60 % WK_{max} abtrocknen gelassen. Danach wurde bis zum Versuchsende konstant auf 60 % WK_{max} bewässert. Mit Variante 3 wurde ebenso verfahren wie mit Variante 2, allerdings erfolgte hier die Überstauung zu EC 51/55.

Nach jeder Staunässeperiode wurden Zwischenernten durchgeführt, bei der jeweils zwei Weizen- und zwei Rapspflanzen pro Container entfernt und analysiert wurden. Hierbei wurden Frisch- und Trockenmassen erfasst. Zur Ermittlung der Trockenmasse wurden die Proben für drei Tage bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend zurückgewogen. Bei der finalen Ernte wurden alle Pflanzen aus einem Container zusammen geerntet. Die Biomassen von Stroh und Ähren bzw. Schoten wurde bestimmt, so wie der Kornertrag und die Ertragskomponenten. Die Ähren bzw. Schoten eines Containers wurden gezählt, von Hand gedroschen und zur Bestimmung des Korngewichts gewogen. Zur Berechnung der Tausendkornmasse wurden 200 Körner abgezählt und gewogen.

4. Ergebnisse und Diskussion

In diesem Versuch konnte gezeigt werden, dass Staunässeperioden im Winterweizen und im Winterraps zu Ertragsverlusten führen und die Höhe des Ertragsverlustes dabei abhängig vom Entwicklungsstadium ist. Eine Überstauung zu Schossbeginn resultierte im Winterweizen in Beeinträchtigungen der vegetativen Entwicklung und in einer gehemmten Nährstoffaufnahme, insbesondere von N. Aufgrund der hohen Regenerationsfähigkeit der Weizenpflanzen, bedingt durch die Bildung von Adventivwurzeln während und nach der Staunässeperiode, kam es jedoch nicht zu einem Ertragsverlust.

Im Winterraps beeinträchtigte die Überstauung zu BBCH 31 das Pflanzenwachstum, die Nährstoffaufnahme und die Blütenfertilität, was in einer reduzierten Anzahl der Schoten, einer verringerten Anzahl der Körner pro Schote und einem verminderten TKM resultierte. Der Grund hierfür war die durch die Staunässe nachhaltig geschädigte Wurzel. Aufgrund der Schädigung konnten die erforderlichen Nährstoffmengen nicht mehr aufgenommen werden, wodurch der Knospen- und Schotenansatz vermindert war. Eine Ertragsabnahme von etwa 25 % war die Folge.

Eine Überstauung zur Blüte führte sowohl im Winterweizen als auch im Winterraps durch die Beeinträchtigung der generativen Entwicklung zu Ertragsverlusten. Im Winterweizen bewirkten die reduzierte Anzahl der Körner pro Ähre sowie das verminderte TKG den Ertragsverlust, der sich auf etwa 60 % belief.

Im Winterraps waren die Ertragsverluste durch eine Staunässeperiode zur Blüte deutlich geringer. Während der Staunässeperiode welkte und vertrocknete die Hauptinfloreszenz der Rapspflanzen aufgrund eines starken Calciummangels, doch durch das Austreiben von sekundären Blütenständen nach dem Ende der Überstauung waren die Ertragsverluste als gering einzustufen und betragen etwa 15 %.

Staunässeperioden beeinflussten auch die Qualität von Winterweizen und Winterraps. Im Winterweizen nahm die Kornqualität ab. Spät überstauter Weizen bildete Schmachtkörner mit geringen Proteingehalten pro Korn. Außerdem veränderte sich die Proteinzusammensetzung. Schwefelarme Glutenin-Fractionen stiegen an, während schwefelreiche Glutenin-Fractionen abnahmen, was zu einer Veränderung der Backqualität führen könnte.

Im Winterraps führten Staunässeperioden zu einem Anstieg des Ölgehalts im Rapsamen. Der von der verarbeitenden Industrie geforderte Ölgehalt von 40 %

konnte unabhängig von der auftretenden Staunässe erreicht werden. In überstauten Rapspflanzen stieg der Ölgehalt an, sodass Preiszuschläge für erhöhte Ölgehalte die Ertragsverluste zum Teil ausgleichen können.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die steigende Anzahl von Starkregenereignissen und ergiebigem Dauerregen führt zu einer erhöhten Gefahr von Staunässe auf landwirtschaftlichen Flächen. Der durch die Staunässe auftretende Sauerstoffmangel schränkt das Wachstum landwirtschaftlicher Kulturen stark ein, was in erheblichen Ernteaussfällen resultieren kann. Bei Staunässe ist vor allem die Nährstoffaufnahme gehemmt, was zu hohen Ertrags- und Qualitätseinbußen, abhängig von der betroffenen Kultur, führen kann. In dem hier durchgeführten Versuch belaufen sich die Ertragsverluste auf 42 % bis 60 % für Winterweizen und 15 bis 25 % für Winterraps. In ergänzenden Feldversuchen sollen weitere Winterweizensorten auf ihre Toleranz gegenüber Staunässe untersucht werden. Weiterhin ist die Anpassung von pflanzenbaulichen Maßnahmen, die zu einer Reduktion der Ernteverluste beitragen, im Fokus folgender Studien.

6. Literatur

Bailey-Serres, J. und L. A. C. J. Voesenek, 2008. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annu Re Plant Biol* 59, 313-339.

Setter, T. L. und I. Waters, 2003. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. *Plant Soil* 253, 1–34.

Steffens, D., B. W. Hütsch, T. Eschholz, T. Lošák und S. Schubert, 2005. Water logging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. *Plant Soil Environ* 51, 545–552.

Umweltbundesamt, 2017. Trends der Niederschlagshöhe. Verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/trends-der-niederschlagshoehe>, (Stand: 10.05.2017).

Bringt der Zuchtfortschritt bei Silomais auch Vorteile für die C-Einträge in den Boden

Antje Herrmann, Katharina Budde, Christoph Kluß und Friedhelm Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau

Einleitung und Problemstellung

Für Silomais ist ein im Vergleich zu anderen Getreiden und Futterpflanzen hoher züchterischer Ertragsfortschritt dokumentiert. So berichten LAIDIG et al. (2014) für deutsche Silomaisarten einen genetisch bedingten Ertragszuwachs von 0.192 t TM ha⁻¹ Jahr⁻¹ für die letzten 3 Jahrzehnte. Für US-amerikanisches Material wird ein linearer Ertragstrend von 0.128 bis 0.164 t ha⁻¹ Jahr⁻¹ für den Zeitraum 1930-1998 nahezu ausschließlich über höhere Kolbenerträge erklärt. Es kann angenommen werden, dass sich der Zuchtfortschritt nicht nur in einem Anstieg der Sprossmasse manifestiert, sondern indirekt auch das Wurzelsystem, d.h. die Wurzelmasse bzw. Wurzelarchitektur modifiziert wurde. Belastbare Studien hierzu liegen für Mais jedoch nur in einem sehr begrenzten Umfang vor. Nach einer Studie zum Zuchtfortschritt bei chinesischer Maisgenetik zeichnen sich neuere Sorten durch eine größere Wurzelmasse, Wurzellänge sowie einen höheren Anteil Wurzeln im Unterboden (30-60 cm) aus, was in einer verbesserten Wasser- und N-Nutzungseffizienz resultieren kann (NING et al. 2014). Eine US-amerikanische Studie belegt für neuere Sorten eine veränderte Wurzelarchitektur, beispielsweise eine geringere Anzahl nodaler Wurzeln und ein modifiziertes Verzweigungsmuster, welches eine effizientere Nährstoff- und Wasseraufnahme und verbesserte Ertragsleistung ermöglichen soll (YORK et al. 2015).

Ziel des Carbomais-Projektes war es, den Beitrag funktionaler Merkmale von Spross und Wurzel zum Zuchtfortschritt von Silomais zu quantifizieren. Hierbei wurden folgende Hypothesen geprüft: (i) der in den letzten 4 Jahrzehnten erfolgte Ertragsfortschritt hat zu einer überproportionalen Akkumulation von Wurzelmasse und zu einem Anstieg des Wurzel/Spross-Verhältnisses geführt, (ii) höhere Erträge neuer Maissorten sind mit einer gesteigerten Wurzelmasse (Brutto, Netto) im Unterboden korreliert, und (iii) bei ähnlichen Abbauraten der Wurzel weisen neuere Sorten günstigere Humusbilanzsalden auf als ältere Sorten.

Material und Methoden

Basis der Untersuchungen bildete ein zweijähriger Feldversuch (2015–2016), der am Standort Ostenfeld (Schleswig-Holstein) auf den Versuchsflächen der FH Kiel („Lindenhof“) mit den in Tab.1 dargestellten Silomaisorten durchgeführt wurde. Die vorherrschenden Bodenarten waren lehmiger Sand und sandiger Lehm und die Flächen waren mit durchschnittlich 50 Bodenpunkten bewertet. Der Standort zeichnet sich im langjährigen Mittel durch eine Durchschnittstemperatur von 8,9 °C bei 847 mm Jahresniederschlag aus. Im Versuchsjahr 2015 lagen der Jahresniederschlag mit 1007 mm und die Durchschnittstemperatur mit 9.7 °C über dem jeweiligen langjährigen Mittel. Das Versuchsjahr 2016 war geprägt durch einen unterdurchschnittlichen Jahresniederschlag (766 mm) bei einer Durchschnittstemperatur von 9.6 °C.

Der Versuch wurde als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Das geprüfte Maissortiment ist Tabelle 1 zu entnehmen. Insgesamt wurden 10 Sorten aus dem mittelfrühen Sortiment ausgewählt, welche das Sortenspektrum der letzten 40 Jahre repräsentieren und sich durch ein hohes Ertragspotential und eine hohe Futterqualität auszeichneten. Die Aussaat fand am 11.05.2015 statt. Die N-Versorgung erfolgte nach N-Sollwert-Prinzip (180 kg N ha⁻¹). Die Grundnährstoffversorgung wurde in Höhe von 160 kg P₂O₅ ha⁻¹, 300 kg K₂O ha⁻¹ und 90 kg ha⁻¹ MgO appliziert, davon 30 kg N ha⁻¹ und 46 kg P₂O₅ ha⁻¹ als Unterfußgabe. Die maschinelle Silomaisernte fand am 26. Oktober (2015) bzw. 26. September (2016) statt.

Zur Erfassung der ober- und unterirdischen Biomasseakkumulation wurden folgende Parameter erfasst: Dynamik der Spross-Trockenmassebildung inkl. verschiedener Pflanzenfraktionen (Blatt, Stängel, Kolben, Fahne) an 5 Terminen mittels Handbeprobung, wöchentliche Erfassung der Blattflächenentwicklung (LICOR LAI-2200C), Quantifizierung des Blatt-Gaswechsels (LICOR LI-6400XT) an 5 Terminen, Dynamik der Brutto-Wurzelmassebildung im Oberboden mittels ingrowth-core Methode (STEINGROBE et al. 2000) in 4-wöchentlichen Intervallen bzw. Erfassung der Netto-Wurzelmasse mittels Bohrkernmethode zur Blüte und zur Siloreife in 0-60 cm Tiefe. Die C- und N-Gehalte von Spross und Wurzel sowie relevante Futterqualitätsparameter wurden mittels NIRS/Nasschemie ermittelt. Die Varianz- und regressionsanalytische statistische Auswertung erfolgte mit der Software R.

Tab. 1: Im Versuch geprüfte Sorten, Jahr der Sortenzulassung und Reifezahl.

Variante	Sorte	Zulassung	Reifezahl
1	Brilliant	1971	FAO 230
2	Blizzard	1975	S250/K230
3	Tau	1977	S230/K220
4	Mutin	1980	FAO 240

5	Beketrio	1990	FAO 230
6	Helix	1994	S230/K220
7	Oldham	1999	S220/K230
8	LG 3232 Lupus	2003	S240/K240
9	Ronaldinio gedüngt	2006	S240/K240
10	LG 30224	2012	S230

Ergebnisse und Diskussion

Der zur Siloreife ermittelte Trockenmasse(TM)-Ertrag zeigte einen abgesicherten Einfluss der Sorte, wobei die älteren Sorten Brilliant, Blizzard und Mutin signifikant unterdurchschnittliche Erträge realisierten, während die neueren Sorten Lupus, Ronaldinio und LG 30224 einen überdurchschnittlichen Ertrag aufwiesen (ohne Abb.). Die regressionsanalytische Auswertung belegt einen signifikanten Anstieg des TM-Ertrags mit dem Jahr der Zulassung (Abb. 1), was den in der Literatur dokumentierten Zuchtfortschritt von Silomais bestätigt. Vergleichbare vom Bundessortenamt ermittelte Zahlen belegen einen Ertragsfortschritt von 1.41 dt TM ha⁻¹ (LAIDIG et al. 2014).

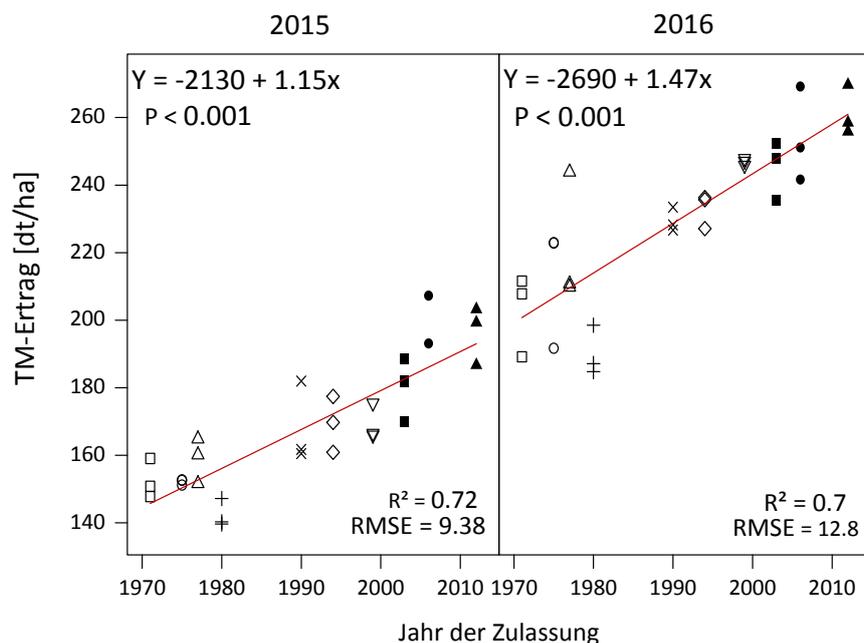


Abb. 1: Beziehung zwischen Jahr der Zulassung und dem Trockenmasseertrag der geprüften Sorten [dt TM ha⁻¹] zur Siloreife für das Versuchsjahr 2015.

Ursächlich für den Ertragsfortschritt ist vermutlich die modifizierte Pflanzenarchitektur neuerer Sorten, die sich in einer tendenziell höheren Blattfläche und einer mehr erektophil ausgerichteten Blatthaltung manifestierte. Für die Photosyntheseleistung hingegen konnte kein Zuchtfortschritt festgestellt werden.

Für die mittels ingrowth core Methode ermittelte Brutto-Wurzelmasse ergab die Varianzanalyse eine signifikante Interaktion zwischen Jahr und Sorte (Abb. 2). Ein Grandmean-Test zeigte jedoch lediglich im Versuchsjahr 2016 für die Sorte Ronaldinio eine signifikant geringere Wurzelmasse. Auch die Regressionsanalyse ergab keinen signifikanten Anstieg der zur Siloreife akkumulierten Brutto-Wurzelmasse (ohne Abb.), d.h. die Hypothese, dass der Zuchtfortschritt auch in einer Akkumulation von Brutto-Wurzelmasse resultiert hat, konnte nicht bestätigt werden.

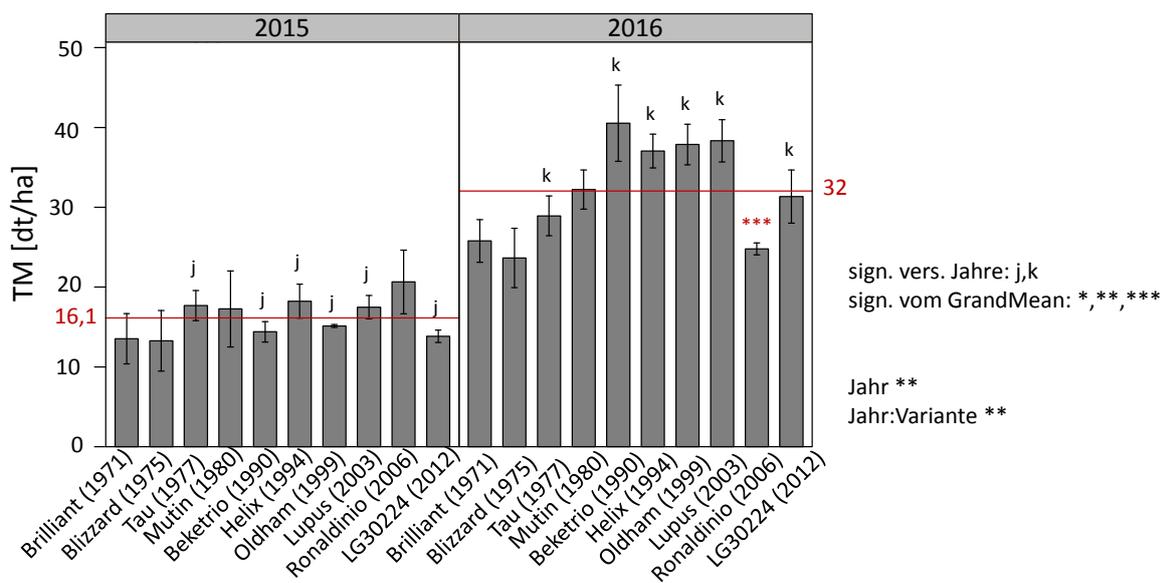


Abbildung 2. Kumulierte Brutto-Wurzelmasse [dt TM ha⁻¹] der geprüften Sorten in Abhängigkeit des Termins (T); Wurzelmasse erfasst mit der ingrowth-core Methode (4-wöchentliches Intervall).

Für die mittels Wurzelbohrern erfasste Netto-Wurzelmasse belegt die regressionsanalytische Auswertung, mit Ausnahme des Probenahmetermins Blüte im Jahr 2016, im Oberboden (0-30 cm) einen signifikanten Anstieg der Netto-Wurzelmasse mit dem Zulassungsjahr (Abb. 3), d.h. einen Zuchtfortschritt von bis zu 1.5 dt TM ha⁻¹ und Jahr. Die Ergebnisse bestätigen den für chinesisches Maismaterial dokumentierten Anstieg der Netto-Wurzelmasse neuerer Sorten (NING et al. 2014). Der Anstieg der Netto-Wurzelmasse kann dahingehend interpretiert werden, dass durch den Zuchtfortschritt, d.h. eine verbesserte Assimilatversorgung der Wurzelmasse über einen länger grün und damit photosynthetisch aktiv bleibenden Blattapparat (THOMAS & OUGHAM 2014), die Umsetzungsprozesse der Wurzel verzögert sind. Dies wird bestätigt durch Berechnungen des Wurzelumsatzes (Daten nicht präsentiert). Übereinstimmend berichten NING et al. (2014) eine geringere Abnahme der Netto-Wurzelmasse nach der weiblichen Blüte für neuere Sorten. Im Unterboden (30-60 cm) konnte

hingegen kein gerichteter Effekt auf die Netto-Wurzelmasse dokumentiert werden.

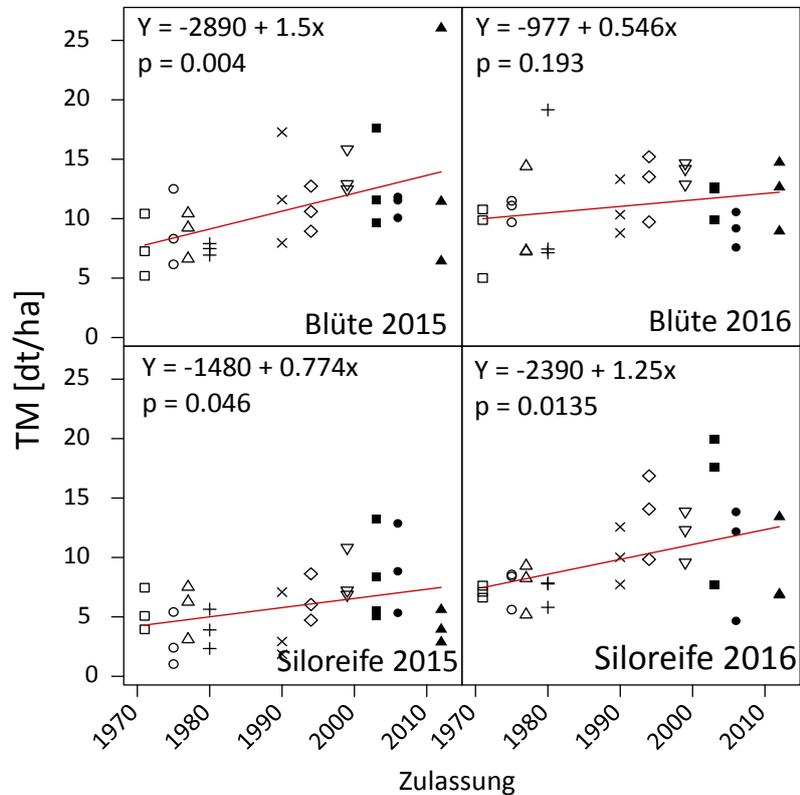


Abb. 3. Netto-Wurzelmasse [dt TM ha⁻¹] der geprüften Silomaisorten, erfasst mit der Bohrkernmethode zum Zeitpunkt der weiblichen Blüte (oben) und zur Siloreife (unten) in den Versuchsjahren 2015 und 2016.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse belegen einen Zuchtfortschritt der erntbaren oberirdischen Biomasse von 1.15 bzw. 1.47 dt ha⁻¹ und Jahr. Die höheren Erträge neuerer Silomaisorten sind jedoch nicht mit einer höheren Brutto-Wurzelmasse korreliert. Allerdings zeigen die Ergebnisse einen signifikanten Anstieg der Netto-Wurzelmasse von älteren zu neueren Sorten, d.h. die eingangs formulierte Hypothese kann nur zum Teil bestätigt werden. Die gesteigerte Netto-Wurzelmasse deutet auf eine verzögerte Wurzelseneszenz neuerer Sorten hin. Eine Zunahme des Wurzel-Spross-Verhältnisses und ein gesteigerter C-Eintrag in den Boden kann daher nicht bestätigt werden.

Literatur

L Aidig, F., Piepho, H.-P., Drobek, T. & Meyer, U. (2014): Genetic and non-genetic long-term trends of 12 different crops in German official variety performance trials and on-farm yield trends, *Theoretical and Applied Genetics* 127, 2599-2617.

Lauer, J.G., Coors, J.G. & Flannery, P.J. (2001): Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras, *Crop Science* 41, 1449-1455.

Ning, P., Li, S., Li, X. & Li, C. (2014): New maize hybrids had larger and deeper post-silking root than old ones, *Field Crops Research* 166, 66-71.

Steingrobe, B., Schmid, H. & Claasen, N. (2000): The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops – influence of soil conditions inside the ingrowth core on root growth, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 617-622.

Thomas, H. & Ougham, H. (2014): The stay-green trait. *Journal of Experimental Botany* 65, 3889-3900.

York, L.M., Galindo-Castañeda, T., Schussler, J.R. & Lynch, J.P. (2015): Evolution of US maize (*Zea mays* L.) root architectural and anatomical phenes over the past 100 years corresponds to increased tolerance of nitrogen stress, *Journal of Experimental Botany* 66, 2347-2358.

Steigerung der N-Effizienz im Ackerbau: Welche Optionen haben wir in intensiven Anbausystemen?

Ingo Pahlmann und Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Einleitung

In der gesellschaftlichen Diskussion um die Gestaltung gegenwärtiger und zukünftiger Agrarsysteme stehen auch die Auswirkungen der Landnutzung auf andere Schutzgüter wie Gewässerzustand, Klimaschutz und Biodiversität im Fokus. Mit Blick auf den Stickstoff (N) -einsatz im Ackerbau sind hier vor allem der Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer sowie die Klimawirkung der Lachgasemissionen und der Energieeinsatz zur Herstellung synthetischer N-Dünger hervorzuheben.

Als problematisch erweist sich, dass zum einen Zustandsänderungen eines Schutzgutes teilweise nur schwer einem konkreten Verursacher zuzuordnen sind, zum anderen, dass es aufwendig ist, die tatsächlichen Stoffflüsse (z.B. Nitratauswaschungen & Lachgasemissionen) in der Praxis zu messen. Daher werden häufig Indikatoren verwendet, die Verlustpotentiale und -gefahren abbilden sollen. Beispiele dafür sind „N-Effizienz“ (N-Abfuhr dividiert durch die N-Zufuhr) und „N-Bilanz“ (N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr). Der N-Bilanz kommt dabei im Rahmen der novellierten Düngeverordnung auch eine besondere rechtliche Bedeutung zu: Der mehrjährig ermittelte Bilanzüberschuss darf den festgelegten Kontrollwert von 50 kg N/ha nicht überschreiten.

Aus agronomischer Sicht besteht eine Vielzahl unterschiedlicher Optionen, die N-Effizienz eines Anbausystems zu erhöhen bzw. den N-Bilanzsaldo zu senken: Zunächst der gesamte Komplex der N-Düngung selbst, im Weiteren aber auch Fragen der Fruchtfolgegestaltung, der Bodenbearbeitung, der Sortenwahl (Züchtung), der Gestaltung des Pflanzenschutzes, Möglichkeiten der Be- und Entwässerung und vieles mehr.

Im Folgenden wird der Fokus auf den Bereichen N-Düngung, Bodenbearbeitung und Fruchtfolgegestaltung liegen. Anhand von Daten und Publikationen der Abteilung Acker- und Pflanzenbau der CAU werden die Effekte einer treffsicheren, an Jahres- und Standorteffekte angepassten N-Düngung, einer teilflächenspezifischen N-Düngung sowie einer Reduktion der N-Düngung deutlich unter das Optimum dargestellt. Es werden weiterhin Effekte einer ungünstigen Fruchtfolgegestaltung auf die N-Effizienz sowie die Wirkung der Integration von Sommerungen und Körnerleguminosen auf die N-Bilanz aufgezeigt.

Treffsichere N-Düngung und suboptimale N-Düngung

Datengrundlage

Die Analyse basiert auf Ertrags- und Qualitätsdaten der Winterweizenernten 2003-2016 eines auf dem Versuchsgut Hohenschulen (Kiel) durchgeführten Versuchs, wobei die Parzellenerträge mit einem Faktor von 0,9 an das praxisübliche Ertragsniveau angepasst wurden. Weizen stand hier in einer viergliedrigen Fruchtfolge nach einem suboptimal gedüngten Winterraps und erhielt eine in drei Teilgaben variierte N-Düngung. Für die Zwecke der vorliegenden Auswertung blieben Varianten, in denen die Gewichtung der Teilgaben einen starken Einfluss ausübte, unberücksichtigt. Für jedes Erntejahr wurden Ertrag, N-Abfuhr, N-Effizienz und N-Bilanz in Abhängigkeit von der N-Düngung mittels einer geeigneten Responsefunktion beschrieben. Es ergaben sich die in Abbildung 1 (im Mittel der Versuchsjahre) dargestellten typischen Verläufe.

Effekte einer treffsicheren, standortangepassten optimalen N-Düngung

Als standortangepasst optimal wird hier diejenige N-Düngung verstanden, die einheitlich in allen Versuchsjahren appliziert, die höchsten N-freien Erlöse (Produktlerlöse abzüglich Kosten N-Dünger) erzielt hätte. Diese Düngung ist damit bestmöglich an den Standort angepasst, ohne spezifische Jahreseffekte zu berücksichtigen. In Abbildung 1 sind die Effekte einer standortangepasst optimalen N-Düngung (markiert mit „b“) abgetragen. Es wird ersichtlich, dass eine treffsicherere standortangepasste N-Düngung immer dann zu einer Verbesserung der N-Effizienz und N-Bilanz führt, wenn das aktuelle Düngenniveau oberhalb des standortangepassten Optimums liegt (Beispielhaft: N-Düngeniveau „a“ in Abbildung 1). Negative Nebeneffekte treten in diesem Szenario nicht auf.

Effekte einer treffsicheren, standort- und jahresspezifisch optimalen N-Düngung

Zusätzlich zur Optimierung der Düngung im Mittel der Jahre sollte darüber hinaus auch die Jahresvariation berücksichtigt werden. Gegenüber der standortangepasst optimalen N-Düngung bewirkt eine jahresspezifische Optimierung eine Reduktion der mittleren N-Aufwandmengen. Damit einher geht eine Reduktion der N-Bilanzüberschüsse und eine Steigerung der N-freien Erlöse (siehe Tabelle 1). Unmittelbare agronomisch negative Nebeneffekte treten auch hier nicht auf.

Effekte einer suboptimalen N-Düngung

Suboptimale Düngung kann als eine Möglichkeit verstanden werden, die N-Bilanzüberschüsse weiter abzusenken, als dies bei einer standort- und jahresspezifisch angepassten optimalen N-Düngung der Fall ist. In Abbildung 1 wurde für das N-Düngeniveau „c“ ein hypothetischer Zielwert der N-Bilanz von 0 kg N/ha unterstellt. Die dafür erforderliche substantielle Reduktion der N-Düngung bewirkt nicht nur einen Rückgang der N-Bilanzüberschüsse, sondern auch eine Steigerung der N-Effizienz. Hier treten jedoch auch unmittelbare negative

Nebeneffekte auf: Ertrag und N-Abfuhr (und damit Qualitäten) werden ebenfalls deutlich reduziert.

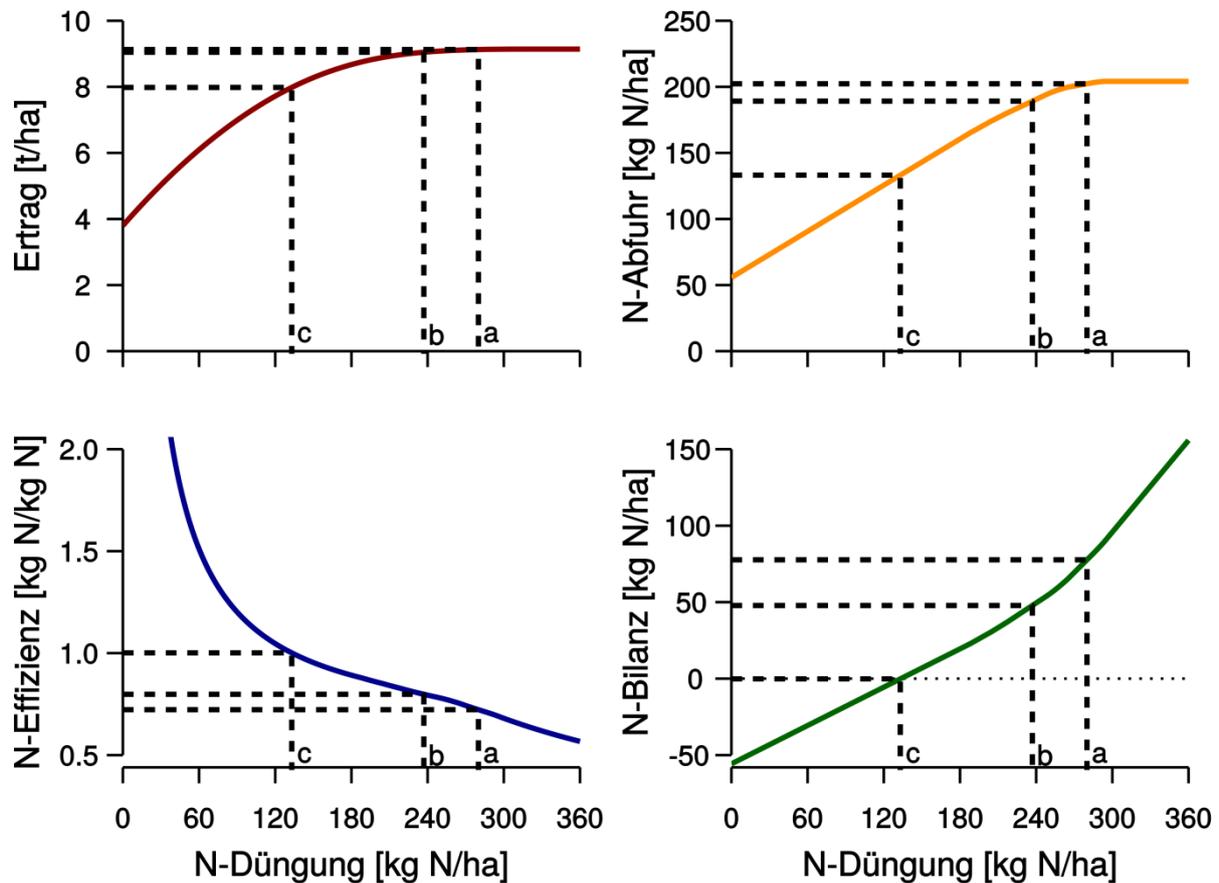


Abbildung 1: Verlauf der Ertragsreaktion, der N-Abfuhr, der N-Effizienz und N-Bilanz bei variierter N-Düngung im Mittel von 14 Versuchsjahren. Die gestrichelten Linien markieren das Düngeneiveau, das der standortoptimalen N-Düngung entspricht („b“), einer beispielhaft gewählten höheren N-Düngung („a“) und einer N-Düngung, die einen hypothetischen Zielwert der N-Bilanz von 0 kg N/ha erzielt („c“).

Tabelle 1: Optimale N-Düngung, erzielte Erträge, resultierende N-Bilanzen und N-freie Erlöse im Mittel von 14 Versuchsjahren bei standortangepasster, einheitlicher N-Düngung in allen Jahren im Vergleich zu einer zusätzlich jahresspezifisch angepassten N-Düngung. Die Zahlen in Klammern geben die jeweilige Spannweite an.

	Nur standortangepasst (alle Jahre einheitlich)	zusätzlich jahresspezifisch angepasst	Differenz
N-Düngung [kg N/ha]	237 (-)	225 (183 – 285)	-12
Ertrag [dt/ha]	90,5 (70,2 – 103,5)	90,9 (69,6 – 105,6)	0,4
N-Bilanz [kg N/ha]	48 (27 – 67)	38 (3 – 69)	-10
N-freier Erlös [€/ha]	1432 (1073 – 1673)	1456 (1102 – 1681)	24

Teilflächenspezifische N-Düngung

Ausgehend von einer optimal an Standort und Jahreseffekte angepassten N-Düngung bietet die teilflächenspezifische N-Düngung das Potential, die N-Aufwandmengen in einem gewissen Umfang weiter zu reduzieren, ohne die negativen Nebeneffekte einer suboptimalen N-Düngung in Kauf nehmen zu müssen. Ein an der CAU entwickelter Algorithmus konnte in einer On-Farm Versuchsserie im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins die N-Bilanz im Winterraps um durchschnittlich rund 28 kg N/ha gegenüber einer einheitlich optimalen N-Düngung senken (Pahlmann et al. 2017).

Vermeiden ungünstiger Fruchtfolgestellung

Sieling et al. (2005) untersuchten die Effekte eines Weizenanbaus in Selbstfolge am Standort Hohenschulen (Kiel) in einem Versuch, in dessen sechsgliedriger Fruchtfolge sich dreimal Raps in Selbstfolge mit dreimaligem Weizenanbau abwechselte. Der in Abbildung 2 dargestellte „Rapsweizen“ ist also der erste Weizen nach dreimaligem Rapsanbau, „Stoppelweizen“ bezeichnet den darauf folgenden, zweiten Weizen.

Ohne Betrachtung der Weizenqualität ergibt sich für Stoppelweizen eine, gegenüber Rapsweizen, deutlich erhöhte optimale N-Düngung. Darüber hinaus sind auch bei optimaler N-Düngung Mindererträge gegenüber dem Rapsweizen festzustellen. Aus der Kombination einer erhöhten N-Düngung und niedrigerer Erträge ergibt sich eine deutlich schlechtere N-Effizienz (Abbildung 2). Wenn gleich der Effekt in der Praxis ggf. geringer ausfällt als in diesem speziellen Versuchsdesign, so zeigt es dennoch deutlich, dass die gleiche Kultur in der gleichen Umwelt in Abhängigkeit von der Fruchtfolgestellung eine sehr unterschiedliche N-Effizienz aufweisen kann. Das Vermeiden ungünstiger Fruchtfolgestellungen kann damit ein Schritt zur Steigerung der N-Effizienz sein. Welche Nebeneffekte auftreten, hängt von den konkreten Alternativen ab, z.B. der Anbauwürdigkeit von Wintergerste.

Konservierende Bodenbearbeitung und Erweiterung der Fruchtfolge

Zur Analyse der (kombinierten) Wirkung von Bodenbearbeitung und Fruchtfolge stand ein auf dem Versuchsgut Hohenschulen (Kiel) durchgeführter Anbausystemversuch zur Verfügung. Obwohl im Schwerpunkt der Untersuchungen die Vermeidung von N-Verlusten nach der Winterrapsenernte (Henke et al. 2008) sowie die Treibhausgasbilanz verschiedener Rapsanbausysteme (Pahlmann et al. 2013) im Vordergrund standen, lassen sich auch Effekte der Anbausysteme auf die N-Bilanz aufzeigen. Im Folgenden handelt es sich um vorläufige Ergebnisse, die abschließende Analyse steht noch aus.

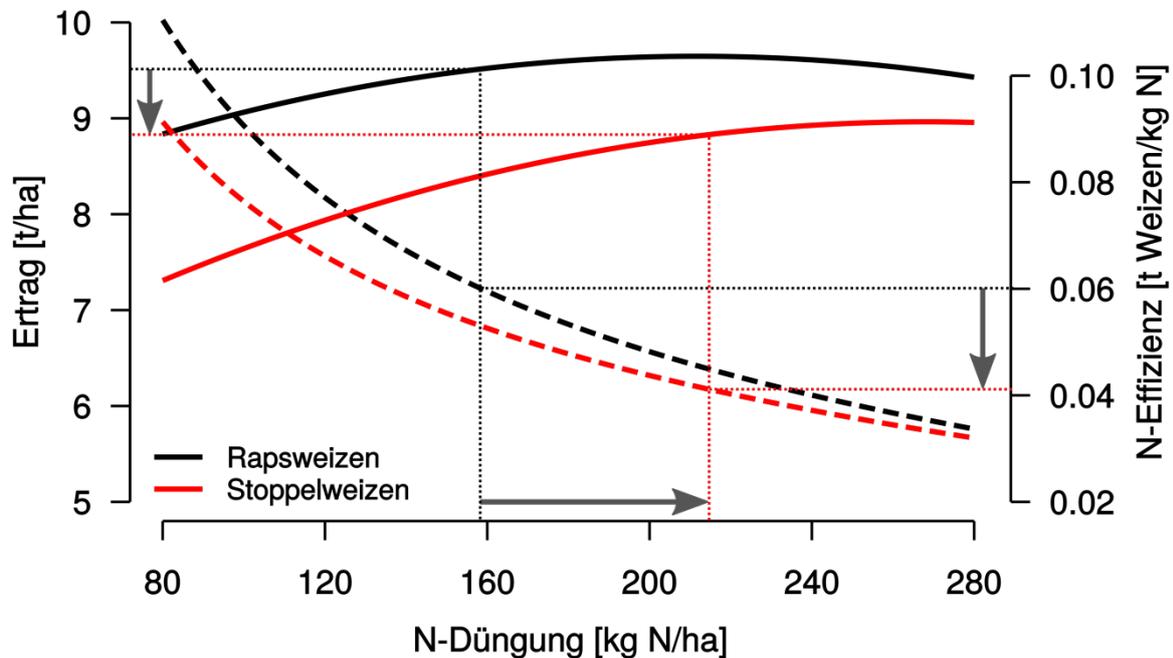


Abbildung 2: Vergleich der Ertragsreaktion (durchgezogene Linien) und N-Effizienz (gestrichelt) von Rapsweizen (nach 3-jähriger Weizen-Anbaupause) und Stoppelweizen (zweiter Weizenanbau in Folge) bei variierender N-Düngung. Die gepunkteten Linien markieren das jeweilige ökonomische Optimum und die dabei erzielten Erträge sowie die ermittelte N-Effizienz. Die Pfeile markieren die Differenz zwischen beiden Fruchtfolgestellungen. Ertragsdaten nach Sieling et al. (2005).

Datengrundlage

Für die betrachteten Anbausysteme lagen Ertrags- und (teilweise) Qualitätsdaten der Ernten 2007-2016 vor. Der Versuch umfasst vier Anbausysteme: Das Referenzsystem ist eine Raps – Weizen – Gerste Fruchtfolge mit durchgehend wendender Bodenbearbeitung. Dem gegenüber steht eine Variante, in der die gleiche Fruchtfolge mit reduzierter Bodenbearbeitung kombiniert wird. Im dritten Anbausystem wird die Fruchtfolge um eine Sommerung (Silomais) zu Raps-(Zwischenfrucht)-Silomais-Weizen-Gerste ergänzt. Das vierte System führt zusätzlich noch eine Körnerleguminose ein, auf die Raps, dann Mais und Weizen folgt. Für alle Anbausysteme wurden Ertragsfunktionen und N-Entzugsfunktionen angepasst und die Parameter, Varianzen und Korrelationen in einer Monte-Carlo Analyse verwendet.

Alle Auswertungen wurden unter der Prämisse einer optimal standort- und jahresangepassten Düngung durchgeführt und unter Berücksichtigung der jeweils erzielten Weizenqualität.

Referenzfruchtfolge und Effekte der Bodenbearbeitung

In beiden Raps-Weizen-Gerste Fruchtfolgen überstieg der Bilanzüberschuss bei optimaler, standort- und jahresangepasster Düngung den Kontrollwert von

50 kg N/ha. Das deckt sich mit den Ergebnissen von Henke et al. 2007, die in ihrer Analyse im Mittel der Rotation unter Berücksichtigung von Qualitätsaspekten ebenfalls N-Bilanzen oberhalb des Kontrollwerts feststellten.

Der durchgehende Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung veränderte in der untersuchten Raps-Weizen-Gerste Fruchtfolge die N-Bilanz nur geringfügig. Im Mittel sank die N-Bilanz der gesamten Fruchtfolge um 3 kg N/ha.

Erweiterung der Fruchtfolge

Die Integration einer Sommerung verringerte die N-Bilanz im Mittel um rund 25 kg N/ha. Demgegenüber ist die Integration einer ertragsstarken Körnerleguminose jedoch differenzierter zu betrachten: Die N-Zufuhr ergibt sich hier aus der N-Fixierung der Leguminose. Diese wird in der Regel nicht gemessen, sondern ertragsbasiert geschätzt. Für die im Versuch sehr ertragsstarken Ackerbohnen wäre dabei, unter Verwendung der gegenwärtig in der Stoffstrombilanzverordnung vorgesehenen Ansätze, ein Bilanzüberschuss von über 90 kg N/ha auszuweisen. Dies führte zu einer deutlichen Verschlechterung der gesamten Fruchtfolgebilanz. Aus Literatur und Versuchsdaten lassen sich jedoch auch Ansätze begründen, die deutlich niedrigere Bilanzüberschüsse und eine Reduktion der Fruchtfolge-N-Bilanz ergeben.

Ein zu berücksichtigender Nebeneffekt der erweiterten Fruchtfolgen ist, dass mit steigender Komplexität der Fruchtfolgen eine treffsichere N-Düngung schwieriger wird. Die im Versuch beobachtete Variation der jahresspezifischen Düngeoptima einzelner Kulturen nimmt zu.

Vergleich der Optionen

Die N-Düngung durch Berücksichtigung und Anpassung an Standort-, Umwelt- und Jahreseffekte treffsicherer zu gestalten kann zunächst als „win-win“ Situation angesehen werden: Die N-Bilanzüberschüsse sinken, die N-Effizienz steigt und die N-freien Erlöse erhöhen sich ebenfalls. Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, dass der Umfang des zu erzielenden Effekts natürlich von der Treffsicherheit der N-Düngung in der Ausgangssituation abhängt und der Informationsbedarf deutlich ansteigt. Die erforderlichen Daten müssen erhoben oder eingekauft, prozessiert, verarbeitet und zu Informationen aufbereitet werden, um dann schlussendlich in ein pflanzenbaulich valides Düngekonzept zu münden. Eine teilflächenspezifische Düngung birgt hierbei das größte Potential, geht aber auch mit dem höchsten Informationsbedarf, technischen und pflanzenbaulichen Anforderungen einher.

Die N-Düngung deutlich unter das Optimum abzusenken, erzielt zwar den gewünschten Effekt einer gesteigerten N-Effizienz und verringerten N-Bilanz. Anders als in den vorangegangenen Optionen ist hierbei allerdings von einem

substantiellen Rückgang der Produktivität und Effizienz der Flächennutzung auszugehen. Die Umsetzung dieser Option erfordert keine zusätzliche Information oder pflanzenbauliches Wissen, jedoch sind die externen Effekte (indirekte Landnutzungsänderungen) einer verminderten Effizienz der Flächennutzung weitgehend unberücksichtigt.

In der klassischen Raps-Weizen-Gerste Fruchtfolge war der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die N-Bilanz vergleichsweise gering. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass weitere pflanzenbauliche Erfordernisse die Bodenbearbeitung in hohem Maße vorgeben, so dass hier in Praxis nur wenige Reserven zu vermuten sind.

Erweiterungen der Fruchtfolge können deutlich positive Effekte auf N-Effizienz und N-Bilanz bewirken, auch dann, wenn die anderen Optionen bereits ausgeschöpft sind. Auf den ersten Blick scheint der Informationsbedarf nicht wesentlich zu steigen, allerdings ist zu berücksichtigen, dass die gewünschten Effekte sich nur dann in vollem Umfang einstellen, wenn die N-Düngung auch in den erweiterten Fruchtfolgen treffsicher angepasst wird. Die Ergebnisse der ausgewerteten Fruchtfolgen implizieren jedoch, dass dies umso schwieriger wird, je effizienter die Fruchtfolge gestaltet ist.

In intensiven, optimal versorgten Systemen ist somit die höchste Effizienz in der Kombination aus treffsicherer N-Düngung und angepasster Fruchtfolge zu erwarten, die gleichzeitig auch die höchsten Anforderungen an Informationsdichte und pflanzenbauliches Know-how stellt.

Literatur

- Henke, J., Breustedt, G., Sieling, K. und Kage, H. (2007): Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. *The Journal of Agricultural Science*, 145(5), 455-468
- Henke, J., Böttcher, U., Neukam, D., Sieling, K. und Kage, H. (2008): Evaluation of different agronomic strategies to reduce nitrate leaching after winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using a simulation model. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82(3), 299-314.
- Pahlmann, I., Böttcher, U., Sieling, K. und Kage, H. (2013): Possible impact of the Renewable Energy Directive on N fertilization intensity and yield of winter oilseed rape in different cropping systems. *Biomass Bioenergy* 75, 168-179
- Pahlmann, I., Böttcher, U., Kage, H. (2017): Developing and testing an algorithm for site-specific N fertilization of winter oilseed rape. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136, 228-237.
- Sieling, K., Stahl, C., Winkelmann, C. und Christen, O. (2005): Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *European Journal of Agronomy*, 22(1), 71-84

Jakobs-Kreuzkraut – Strategien für ein naturschutzkonformes Management

Tobias W. Donath

Abteilung Landschaftsökologie - Institut für Natur- und Ressourcenschutz

Das Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea* L.), eine einheimische Pflanze aus der Familie der Korbblütler (Asteraceae), verzeichnet seit einigen Jahren in Schleswig-Holstein vor allem auf extensiv genutztem Grünland eine starke Zunahme (Huckauf et al. 2017). Auch deutschlandweit ist in den vergangenen Jahren eine deutliche Zunahme individuenstarker Vorkommen des giftigen Jakobs-Kreuzkrautes („JKK“, syn. Jakobs-Greiskraut, *Senecio jacobaea* L. syn. *Jacobaea vulgaris*) zu verzeichnen. Als heimische Art kommt Jakobs-Kreuzkraut immer schon in Deutschland vor, allerdings in überwiegend vereinzelt und kleinen Populationen. Massenbestände sind aber aus den 50er und 60er Jahren belegt und die Verwendung der Art als Kennart frischer Wiesen und Weiden weist auch auf ein durchaus verbreitetes stetes Vorkommen hin (Christiansen 1953). Mit Zunahme der landwirtschaftlichen Intensivierung war die Art in der Landschaft zwar weiter anzutreffen, dies aber nur in Einzelbeständen und individuenarmen Populationen. Ungefähr zur Jahrtausendwende änderte sich dieses Verbreitungsmuster (Huckauf et al. 2017). Es waren deutliche Zunahmen der Vorkommen und Populationsdichten des Jakobs-Kreuzkrautes zu beobachten (Abb. 1). Auch kam es zu einer verstärkten Ausbreitung der Art, so dass Jakobs-Kreuzkraut-Massenbestände aus zahlreichen Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland) belegt sind. Verschiedene Gründe werden für diese Bestandsänderungen verantwortlich gemacht (Wardle 1987; Huckauf et al. 2017).

Das Phänomen der Ausbreitung des Jakobs-Kreuzkrautes zeigt sich auch außerhalb Deutschlands, in Ländern wie Niederlande, Schweiz, UK, Australien, Neuseeland, Kanada und USA (DVL 2017; Huckauf et al. 2017). Außerhalb Europas gilt die Art als nichtheimische Art und wird aufgrund ihres Ausbreitungspotentials als invasive Art geführt (Huckauf et al. 2017). Die starke Zunahme der Jakobs-Kreuzkraut-Populationen ist aus mehreren Gründen problematisch: Die Art enthält Pyrrolizidin-Alkaloide (PAs) als Fraßgifte, von denen für Weidetiere wie auch für Menschen eine Gesundheitsgefährdung ausgehen kann (Neumann & Huckauf 2016). Beim Abbau dieser sekundären Pflanzeninhaltsstoffe können reaktive Pyrrole

entstehen, die irreversible Schädigungen vor allem der Leber hervorrufen können. Weidetiere meiden zwar die frischen Pflanzen wegen der in ihnen enthaltenen Bitterstoffe, diese gehen jedoch beim Trocknen oder Silieren verloren, so dass *Senecio jacobaea* im Heu und auch in der Silage eine Gefahr für die Tiergesundheit darstellt (Neumann & Huckauf 2016).



Abb. 1: Jakobs-Kreukraut-Bestand auf einer Extensivweidefläche bei Preetz (H. Möhler).

Über den Honig können die Pyrrolizidin-Alkaloide auch in die menschliche Nahrung gelangen, wenn Honigbienen Pollen und Nektar des Jakobs-Kreiskrautes eintragen (Neumann & Huckauf 2016). Aufgrund seiner Giftigkeit gefährdet das massenhafte Vorkommen des Jakobs-Kreuzkrautes die Umsetzung des Konzeptes der halboffenen Weidelandschaften als Hauptstrategie der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein für die großräumige Erhaltung von Offenlandlebensräumen und der damit verbundenen hohen floristischen und faunistischen Diversität (LLUR 2010). Diese Managementstrategie wird auch in anderen Bundesländern für die Offenhaltung großer Landschaften umgesetzt, da sie eine kostengünstige und naturnahe Strategie zur Offenhaltung der Landschaft darstellt (Bunzel-Drüke et al. 2015). Aber auch in Regionen mit traditionell höherer Bedeutung einer Wiesennutzung von Grünlandbeständen stellt ein massives Auftreten des Jakobs-Kreuzkrautes eine Gefährdung extensiver Bewirtschaftungsformen,

wie sie im Naturschutzmanagement durchgeführt werden, dar (DVL 2017; Huckauf et al. 2017).

Aufgrund der beschriebenen Jakobs-Kreuzkraut-Problematik ist zudem ein deutlicher Rückgang der Akzeptanz naturschutzfachlich begründeter Nutzungseinschränkungen bei Landwirten und in der Bevölkerung zu befürchten bzw. bereits festzustellen. Für Landwirte hat sich die Situation dadurch weiter verschärft, dass inzwischen Grünlandflächen, die Massenbestände (> 50 % Deckung) von Jakobs-Kreuzkraut aufweisen, nicht mehr als beihilfefähig gelten (MELUR 2016). Somit entfällt für die Bewirtschaftung der stark betroffenen Grünlandflächen eine wichtige finanzielle Säule, die dem Landwirt eine gewinnbringende Bewirtschaftung dieser extensiven, naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbestände ermöglicht. Daraus ergibt sich die konkrete Gefahr, dass die betroffenen Landwirte die Nutzung der Grünlandflächen aufgeben. Eng damit verbunden ist innerhalb der FFH-Gebietskulisse die Gefahr, dass auf den betroffenen Flächen das durch die FFH-Richtlinie (92/43/EWG) vorgegebene und im BNatSchG §33, 34 in nationales Recht übertragene Verschlechterungsverbot nicht erfüllt werden kann und somit schlimmstenfalls ein EU-Vertragsverletzungsverfahren mit entsprechenden Strafzahlungen droht.

Trotz der langen Tradition an Berichten zu der Problematik, die diese Art aufgrund ihres Giftgehaltes für die Bewirtschaftung der Flächen mit sich bringt, sind Studien, die systematisch die Wirksamkeit von Bekämpfungsmaßnahmen belegen, überschaubar (Roberts & Pullin 2007). Insbesondere sind Studien zur Wirkung umwelt- bzw. naturschutzverträglicher Methoden (manuelle und mechanische Bekämpfungsstrategien oder der Einsatz natürlicher Gegenspieler) nur sehr begrenzt vorhanden. Klassische Verfahren bei der Bekämpfung unerwünschter Grünlandarten sind Maßnahmen zur Nutzungsintensivierung (höhere Nutzungsfrequenz und Düngung), Umbruch und Neueinsaat der betroffenen Flächen oder der Einsatz von Herbiziden (Stählin, 1969, Roberts & Pullin 2007). Da sich die Wirkung dieser nicht spezifischen Maßnahmen und Präparate nicht auf Jakobs-Kreuzkraut beschränkt, sondern auch die artenreiche Begleitvegetation geschädigt wird, verbietet sich der Einsatz dieser Methoden in naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbeständen (Werner 2012; Huckauf et al. 2017). Beide Autoren zeigen auch, dass selbst die in Kauf genommenen Kollateralschäden an der Begleitflora meist keinen 100%igen Erfolg bei der Bekämpfung des Jakobs-Kreuzkrautes sichern. Dies gilt ebenfalls für sogenannte biologische Herbizide (z. B. Essigsäure, Pelargonsäure, Gewürznelkenextrakt), die nicht-systemisch und ebenfalls nicht artspezifisch wirken (Tränkner 2015). Abgesehen davon ist zu erwarten, dass diese Maßnahmen das Jakobs-Kreuzkraut nur kurzzeitig zurückdrängen können.

Sowohl nach Umbruch als auch nach der Bekämpfung durch Herbizide wird zwar eine Wiedereinsaat bzw. Nachsaat von Gräsern zur Schließung der Grasnarbe empfohlen, jedoch kann eine schnelle Re-Etablierung des Jakobs-Kreuzkrautes zum einen aus der Bodensamenbank stattfinden oder durch Sameneinflug von anderen Beständen erfolgen (Cameron 1935; Wardle 1997; Huckauf et al. 2017). Insbesondere nach Umbruch ist mit einer hohen Aktivierung der Samenbank zu rechnen (Wardle 1997), so dass keine nachhaltige Verminderung der Bestände durch diese Maßnahmen zu erwarten ist.

Naturschutzfachlich vertretbare mechanische Bekämpfungsverfahren werden zwar in zahlreichen Handreichungen beschrieben, es gibt jedoch kaum systematisch durchgeführte und dokumentierte Untersuchungen zu ihrer Effektivität. Die beiden einzigen systematischen Untersuchungen, die experimentell verschiedene Schnittvarianten als Maßnahme zur Regulierung von Jakobs-Kreuzkraut getestet haben (Siegrist-Maag et al. 2008, Eisele et al. 2011), sind jeweils nur auf einer Versuchsfläche unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt worden. Die gewählten Standorte, Straßenböschung und Weidelgrasweide, sind zudem nicht mit naturschutzfachlich wertvollem, naturnahem Extensiv-Grünland vergleichbar. Die Untersuchungen geben aber gute Anhaltspunkte für ein zielführendes Mahdregime von Jakobs-Kreuzkraut-Beständen. Ein Nachteil mechanischer Verfahren stellt die Notwendigkeit schweren landwirtschaftlichen Gerätes dar. Auf Grünlandflächen, die sehr schlecht oder nicht befahrbar sind, wie nasse Flächen, gehölzreiche Flächen oder Flächen mit sehr starkem Kleinrelief, wie es sich oft auf Flächen nach mehrjähriger reiner Weidenutzung einstellt, lassen sich mechanische Regulierungsmaßnahmen nicht umsetzen, und alternative Lösungsansätze sind gefragt.

Einer dieser alternativen Lösungsansätze – die Ausbringung natürlicher Antagonisten – ist in Ländern, in denen *Senecio jacobaea* nicht heimisch ist, durchgeführt worden und hat einigen Fällen zum Erfolg geführt (Roberts & Pullin 2007). Die meist verwendeten Antagonisten sind in diesen Studien der Jakobskrautbär (*Tyria jacobaeae*; syn. Blutbär, Karminbär) und/oder Flohkäfer (*Longitarsus flavicornis* und *L. jacobaeae*) gewesen. Inwiefern diese natürlichen Antagonisten auch in Mitteleuropa erfolgreich zur Bekämpfung von Jakobs-Kreuzkraut eingesetzt werden können, in denen sie heimisch und daher ihrerseits Fraßfeinden und Parasitoiden ausgesetzt sind, ist bislang nur unzureichend erforscht worden (Roberts & Pullin 2005; Roberts & Pullin 2007). Die dazu aus Europa bekannten Studien sind reine Beobachtungsstudien aus dem Vereinigten Königreich (Cameron 1935) und aus den Niederlanden (Windig 1993). Dort zeigten sich bei Vorhandensein des Jakobskrautbären und des Flohkäfers zwar teils deutliche negative Effekte auf das Jakobs-Kreuzkraut, allerdings wurde keine aktive Aussetzung der

Antagonisten in die Jakobs-Kreuzkraut-Bestände durchgeführt. Daher sind diese Studien zur Bewertung praxisnaher Maßnahmen zur Regulation von Jakobs-Kreuzkraut-Massenbeständen nur von begrenzter Aussagekraft. Um zu aussagekräftigen Ergebnissen hinsichtlich der Erfolgchance der Kontrolle von Massenbeständen des Jakobs-Kreuzkrauts durch natürliche phytophage Gegenspieler zu gelangen, ist also ein experimentell kontrollierter Ansatz notwendig, in dem explizit unterschiedlich hohe Aussatzdichten phytophager Insekten in unterschiedlicher zeitlicher Staffelung in einem replizierten Ansatz und in Kombination mit mechanischen Bekämpfungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Aktuell werden die oben dargestellten Maßnahmen in zwei Projekten der Abteilung Landschaftsökologie des Institutes für Natur- Und Ressourcenschutz untersucht. Die Erprobung von verschiedenen Managementmaßnahmen, d. h. verschiedene Mahd-/Mulchtermine und Maßnahmen zur floristischen Artanreicherung der Grünlandbestände durch Einsaat oder Mahdgutübertragung (vgl. Kiehl et al. 2010) sowie eine Kombination dieser Maßnahmen, wird in einem auf fünf Jahre angelegten Projekt (2015-2020), das durch die Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein finanziert wird, untersucht. Schnitt-/Mulchvarianten zielen darauf ab, entweder den Blühaspekt zu vermindern und damit zu verhindern, dass Honigbienen die Massenbestände des JKK als Tracht nutzen können, oder durch einen späteren Schnitt vor Samenschüttung Ende Juli eine Ausbreitung auf Nachbarflächen zu reduzieren. Die Varianten mit einer floristischen Anreicherung der Grünlandbestände wiederum zielen darauf ab, die Konkurrenzsituation der Vegetation zu manipulieren, so dass die derzeit von JKK eingenommenen Nischen innerhalb der Bestände durch andere, nicht giftige Pflanzenarten eingenommen werden und mittel- bis langfristig JKK aus den Beständen verdrängt wird (Bezemer & Van de Voorde 2017; DVL 2017). In diesem Zusammenhang zeigen Untersuchungen aus den Niederlanden, dass die Einsaat von Brachflächen mit einer nur geringfügig artenreicheren Saatmischung zum einen die Besiedelung mit JKK verzögern und außerdem zu einer geringeren Dichte der Bestände führen (Bezemer & Voorde 2017).

Das Potential biologischer Regulierungsmaßnahmen mittels natürlicher Antagonisten des Jakobs-Kreuzkrautes wird in einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt (Laufzeit 2016-2020) untersucht. Im natürlichen Verbreitungsgebiet des Jakobs-Kreuzkrautes sieht sich die Pflanze zahlreichen phytophagen Insektenarten ausgesetzt. Neben Jakobskrautbär (*Tyria jacobaeae*) und Flohkäfer (*Longitarsus flavicornis*, *L. jacobaeae*), sind vor allem die Kleinschmetterlinge *Cochylis atricapitana*, *Phycitodes maritima* und *Platyptilia isodactyla* sowie die Fliegenart *Botanophila seneciella* zu nennen. Kassebeer (2015) konnte in Schleswig-

Holstein allein 38 phytophage Insektenarten identifizieren und geht davon aus, dass letztendlich über 90 Arten Jakobs-Kreuzkraut als Wirtspflanze nutzen dürften. Hinzu kommen noch hunderte Insektenarten, die zwar keine enge Bindung an die Art aufweisen, diese aber als Nahrungsquelle nutzen. Dies zeigt, dass jeder Regulierung des Jakobs-Kreuzkrautes eine detaillierte Abwägung über mögliche negative Folgen der geplanten Eingriffe auf naturschutzfachlich wertvolle Tier- und Pflanzenarten und Artengemeinschaften vorgeschaltet sein muss (Huckauf et al. 2017; Kassebeer 2015). Die hohe Anzahl auf JKK vorkommender Insektenarten bietet im Rahmen des Forschungsprojektes das Potential, weitere Insektenarten zur Regulierung des Jakobs-Kreuzkrautes zu erfassen. Sollten die Projektergebnisse die Wirksamkeit der Management-Maßnahmen und der Aussetzung von Antagonisten belegen, würde dies betroffenen Akteuren weitere Werkzeuge für eine naturschutzfachlich vertretbare Regulierung der Jakobs-Kreuzkraut-Bestände an die Hand geben.

Referenzen

- Bezemer TM & Van de Voorde TFJ (2017) Jakobs-Kreuzkraut in den Niederlanden – Liegt die Lösung des Problems im Boden? DVL-Schriftenreihe Landschaft als Lebensraum 23: 60-67.
- Bunzel-Drüke M, Böhm C, Ellwanger G, Finck P, Grell H, Hauswirth L, Herrmann A, Jedicke E, Joest R, Kämmer G, Köhler M, Kolligs D, Krawczynski R, Lorenz A, Luick R, Mann S, Nickel H, Raths U, Reisinger E, Riecken U, Rößling H, Sollmann R, Ssymank A, Thomsen K, Tischew S, Vierhaus H, Wagner H-G & Zimball O (2015) Naturnahe Beweidung und NATURA 2000. Heinz Sielmann Stiftung, 291 S.
- Cameron E (1935) A study of the natural control of ragwort (*Senecio jacobaea* L.). Journal of Ecology 23: 265–322.
- Christiansen W (1953) Neue kritische Flora von Schleswig-Holstein. Buchverlag heinrich Möller Söhne GmbH, Rendsburg. 532 S.
- DVL – Deutscher Verband für Landschaftspflege e. V. (2017) Kreuzkräuter und Naturschutz, DVL-Schriftenreihe Landschaft als Lebensraum 23: 1-103.
- Eisele N, Tonn B, Pekrun C & Elsaesser M (2011) Influence of different cutting dates on regrowth and achene germination capacity of *Senecio jacobaea*. Grassland Science in Europe 16: Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation, Gumpenstein, Austria, 29th–31st August, 2011: 196–198.
- Huckauf A, Rabe I, Aboling S, Böhling J, Böttner E, Ehlers B, Kassebeer C, Lütt S, Neumann H, Pechan B, Pfeil W, Ramert D, Trede J, Vervuert I, Walter A & Werner M (2017) Umgang mit Jakobs-Kreuzkraut: Meiden – Dulden – Bekämpfen. Schriftenreihe LLUR SH - Natur 25: 1-70.
- Kassebeer, C. (2015) Erfassung phytophager Insekten an Jakobs-Kreuzkraut in Schleswig-Holstein. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des LLUR. 103 S.
- Kiehl K, Kirmer A, Donath TW, Rasran L & Hölzel N (2010) Species introduction in restoration projects - evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe. Basic and Applied Ecology 11: 285-299.
- LLUR - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2010) Beweidung von Offen- und Halboffenbiotopen - Eine adäquate Pflegemethode unter besonderer Berücksichtigung der FFH-Lebensraumtypen und Arten. 30 S.
- MELUR (2016) Erläuterungen und Hinweise zum Sammelantrag (<https://www.schleswig->

- holstein.de/DE/Fachinhalte/E/eu_direktzahlungen/Downloads/erlaeuterung
enSammelantrag.pdf; Stand 6. Mai 2016).
- Neumann H & Huckauf A (2016) Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*):
eine Ursache für Pyrrolizidin-Alkaloide im Sommerhonig? Journal für
Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 11: 105–115.
- Roberts PD & Pullin AS (2005) Effectiveness of the control of ragwort
(*Senecio*) species: “Can biological control by the use of natural enemies
effectively control *Senecio jacobaea* (common ragwort)?” CEE review 04-
004 (SR5b). www.environmentalevidence.org/SR5b.html
- Roberts PD & Pullin AS (2007) The effectiveness of management
interventions used to control ragwort species. Environmental Management
39: 691–706.
- Siegrist-Maag S, Lüscher A & Suter M (2008) Reaktion von Jakobs-
Kreuzkraut auf Schnitt. AGRAR Forschung 15: 338–343.
- Stählin A (1969) Maßnahmen zur Bekämpfung von Grünlandunkräutern. Das
wirtschaftseigene Futter 15: 249–334.
- Tränkner A (2015) Einsatz von biologischen Pflanzenschutzmitteln zur
Bekämpfung von Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*). Unveröffentlichtes
Gutachten im Auftrag der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein.
- Wardle DA (1997) The ecology of ragwort (*Senecio Jacobaea* l.) - a review.
New Zealand Journal of Ecology 10: 67–76.
- Werner B (2012) Regionale Versuche zur chemischen Bekämpfung von
Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*). 25. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 13.-15. März 2012 in
Braunschweig.
- Windig JJ (1993) Intensity of *Longitarsus jacobaeae* Herbivory and Mortality
of *Senecio jacobaea*. Journal of Applied Ecology 30: 179–186.

Taurin in Lebensmitteln - Vom Molekül zur biologischen Wirkung

Ulrike Seidel, Gerald Rimbach

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
Abteilung Lebensmittelwissenschaft

Taurin wurde erstmals 1827 von den Wissenschaftlern Leopold Gmelin und Friedrich Tiedemann aus der Ochsgalle isoliert. Da die getesteten Eigenschaften Ähnlichkeiten zum bereits bekannten Asparagin aufwiesen, nannte man Taurin vorerst "Gallenasparagin" (Tiedemann und Gmelin 1827). Taurin ist eine Aminoethansulfonsäure die, wie auch Aminosäuren, eine Aminogruppe besitzt. Da Taurin jedoch mit einer Sulfonsäure- statt einer Carboxylgruppe ausgestattet ist (Abbildung 1), ist die Ausbildung einer Peptidbindung nicht möglich und Taurin liegt frei im tierischen Gewebe vor.

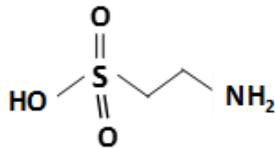


Abbildung 1: Strukturformel von Taurin.

Die Versorgung mit Taurin wird sowohl über die nutritive Zufuhr als auch über die endogene Synthese aus dem Abbau von Methionin und Cystein gewährleistet. Die endogene Synthese ist speziesspezifisch. So sind beispielsweise Katzen nicht in der Lage den Taurinbedarf über eine Eigensynthese zu decken. Taurin kommt natürlicherweise ausschließlich in Lebensmitteln tierischer Herkunft vor (Tabelle 1). Hohe Tauringehalte haben Muscheln, aber auch Geflügelfleisch zählt zu den taurinreichen Lebensmitteln. Interessant ist, dass es sich dabei jedoch um das dunkle Fleisch, an Ober- und Unterkeulen, handelt.

Tabelle1: Tauringehalte verschiedener Lebensmittel tierischer Herkunft.

Tauringehalte in mg / 100 g Lebensmittel. Werte entsprechen dem Mittelwert \pm SEM (n = 1-12). Originaldaten stammen von (Laidlaw et al. 2016; Purchas et al. 2004; Spitze et al. 2003; Tripaldi et al. 1998)

Lebensmittel	Zubereitungsart	Taurinegehalt (mg/100g)
Jakobsmuschel	roh	827 (\pm 15)
Miesmuschel	roh	655 (\pm 72)
Truthahn, dunkles Fleisch	roh	306 (\pm 69)
	geröstet	299 (\pm 52)
Lamm	roh	310
	gekocht	171
Huhn, dunkles Fleisch	roh	169 (\pm 37)
	gegrillt	199 (\pm 27)
Lachsfillet	roh	130 (\pm 56)
Rind	roh	43 (\pm 8)
	gegrillt	38 (\pm 10)
Shrimps	roh	39 (\pm 13)
	gekocht	11 (\pm 1)
Truthahn, helles Fleisch	roh	30 (\pm 7)
	geröstet	11 (\pm 1)
Huhn, Hellen Fleisch	roh	18 (\pm 3)
	gegrillt	15 (\pm 4)
Kuhmilch (3.5 % fat)		2.4 (\pm 0.3)

Weiterhin erlangte Taurin durch die Markteinführung sogenannter Energy Drinks zunehmend an Bedeutung im Bereich der Lebensmittelwissenschaft. Energy Drinks enthalten neben Koffein und Zucker beachtliche Mengen an Taurin (~ 400 mg / 100ml).

Nutritiv aufgenommenes Taurin wird im Dünndarm absorbiert und gelangt über das Pfortaderblut zur Leber (Anderson, Catriona M. H. et al. 2009). Dort werden nur etwa 25 % des Taurins aufgenommen. Der Rest gelangt in die Zirkulation (Ikeda et al. 2012). Die Taurinkonzentrationen im Plasma sind im Gegensatz zu intrazellulären Tauringehalten relativ niedrig und liegen zwischen 10 und 100 μ M (Huxtable 1992). Taurin kommt in hohen Konzentrationen in Geweben wie Retina, Neuronen, Herz- und Skelettmuskulatur und Zellen des Immunsystems vor. Diese reichen von 20 - 30 mM im Herzmuskel bis 70 mM in der Retina. Taurin wird somit aktiv, entgegen eines Konzentrationsgefälles in die Zellen transportiert. Der Taurintransporter (TauT) ist Na⁺- und Cl⁻ abhängig und gehört der Neurotransmitter Transportfamilie an (Grafe et al. 2004). Bei

steigenden Taurinkonzentrationen im Plasma, z.B. nach einer taurinreichen Nahrung, wird Taurin vermehrt über die Niere eliminiert. Die renale Rückresorption von Taurin liegt je nach Versorgungslage bei 40 bis 99 % (Han et al. 2006). Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der Taurinzufuhr, -verteilung und -eliminierung.

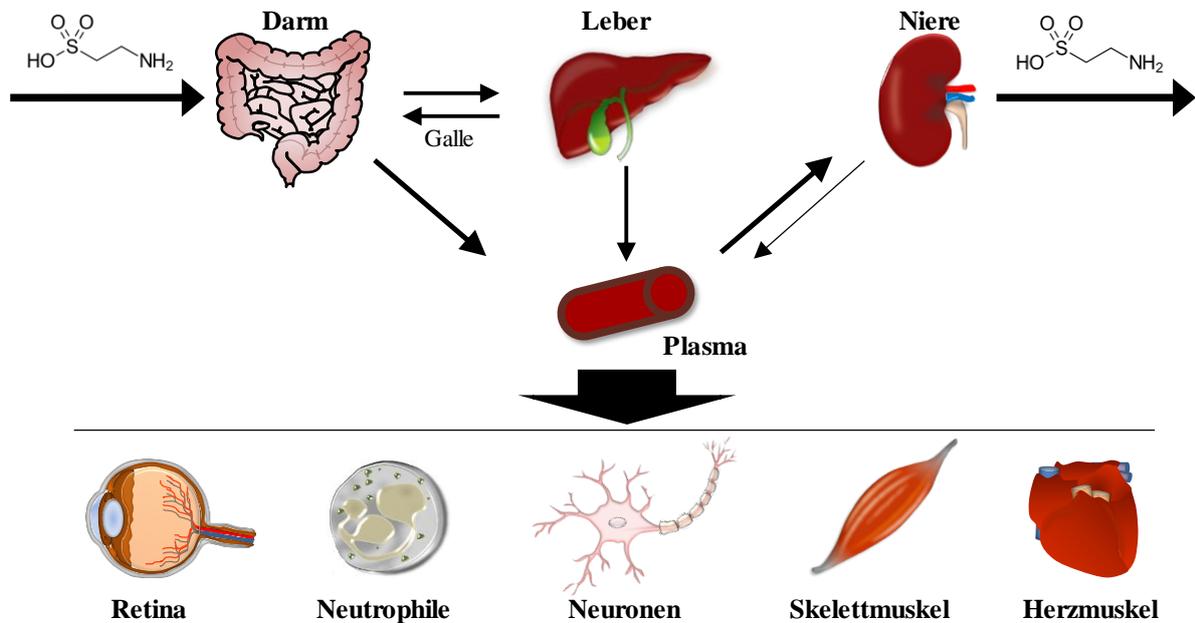


Abbildung 2: Taurinverteilung im Säugetierorganismus.

Taurin wird mit der Nahrung aufgenommen und/oder in der Leber synthetisiert. Von der Leber aus gelangt es in die Zirkulation oder mit Gallensäuren konjugiert in den Darm. Die niedrigen Taurinkonzentrationen im Plasma unterliegen einem engen Schwankungsbereich. Taurin wird aktiv in die Zellen transportiert sowie über die Niere eliminiert. Zu den taurinreichen Geweben/Zellen zählen die Retina, Neutrophile Granulozyten, Neuronen, Skelettmuskulatur sowie Herzmuskulatur.

Da die Taurinausscheidung adaptiv zur Taurinaufnahme ist, stellt sie einen geeigneten Marker für die Versorgungslage dar. Abbildung 3 zeigt die 24 Stunden Taurinausscheidung verschiedener geografischer Regionen. Die Erhebung startete im Oktober 2000 im Rahmen der WHO- coordinated Cardiovascular Disease and Alimentary Comparison (WHO-CARDIAC) Studie (Yamori et al. 2001). Es wird deutlich, dass insbesondere in Japan und China, aber auch in Spanien eine hohe renale Taurinexkretion zu verzeichnen ist. Aus der Studie geht ebenfalls hervor, dass eine inverse Korrelation zwischen der 24 Stunden Taurinexkretion und der Sterberate durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen besteht. Diese Studienergebnisse könnten möglicherweise auf den hohen Fisch- und Meeresfrüchte-Verzehr in den genannten Regionen zurückzuführen sein.

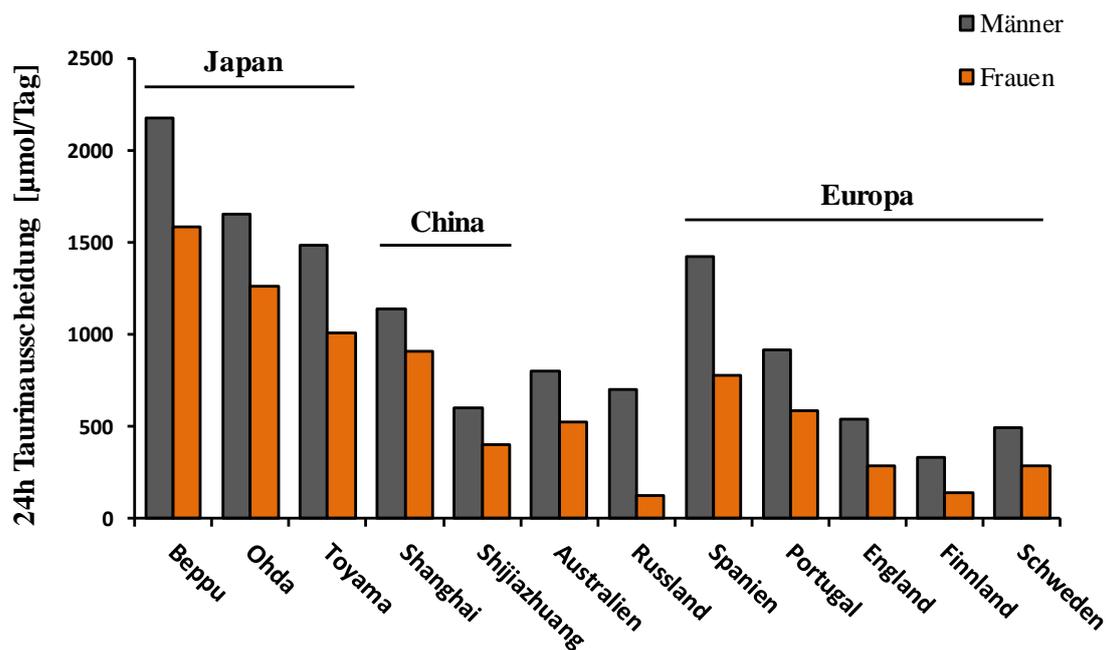


Abbildung 3: Taurinausscheidung verschiedener geografischer Regionen.

24 Stunden Taurinausscheidung von Männern und Frauen mittleren Alters (48-56 Jahre). Die Daten wurden im Rahmen der WHO-CARDIAC Studie erhoben (Yamori et al. 2001).

Der NOAEL (No Adverse Effect Level) für Taurin liegt bei > 1000 mg / kg Körpergewicht (BfR Stellungnahme 001/2010 2009). Entsprechend müsste eine 70 kg schwere Person 8.5 kg Jacobsmuscheln oder ca. 18 l eines herkömmlichen Energy Drinks aufnehmen, um diesen Wert zu erreichen. Daher ist Taurin als unbedenklich einzustufen. Viele Wissenschaftler sprechen vielmehr von einer bedingt essentiellen Bedeutung, da ein Taurindefizit zu Mangelerscheinungen führen kann. Die wohl wichtigste Mangelerscheinung ist die Makuladegeneration, die mit anschließender Erblindung einhergeht. Untersucht wurde dieser Phenotyp bei taurinfrei ernährten Katzen, sowie auch an genetisch veränderten TauT-Knockout Mäusen (Hayes et al. 1975; Heller-Stilb 2001). Weiterhin konnten erhebliche Schäden des Herz- und Skelettmuskels bei TauT-Knockout-Mäusen festgestellt werden (Ito et al. 2008; Warskulat 2004).

Als molekulare Erklärungsansätze für die Taurinwirkung werden Membran- und Proteinstabilisation, Einfluss auf die Calcium-Homöostase, osmotische Funktion und Modulation von Stress- und Immunantwort beschrieben. Insbesondere antioxidative Wirkungen von Taurin werden vielfach postuliert. Eigene Untersuchungen an kultivierten Leber- und Muskelzellen unterstützen diese Wirkung im Hinblick auf den Schutz vor oxidativen Schädigung.

Es zeigte sich, dass das eine Taurinbehandlung von Hepatozyten und Myozyten zu einer signifikanten Verringerung von Lipidperoxidationsprodukten führte (Abbildung 4).

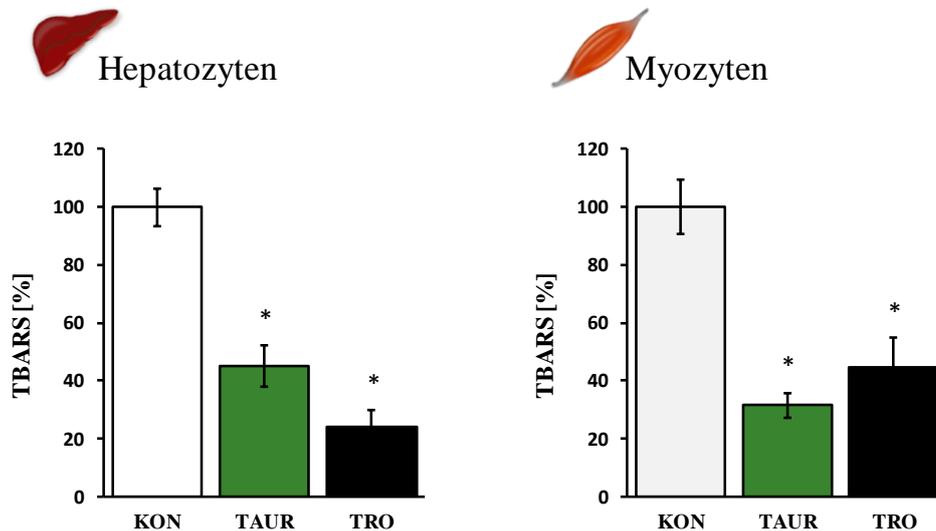


Abbildung 4: Taurin inhibiert die Lipidperoxidation in Hepatozyten und Myozyten.

Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen (TBARS) wurden als Maß für die oxidative Zellschädigung herangezogen. Die Zellen wurden mit Taurin (TAUR) oder Trolox (TRO) behandelt. Trolox, ein wasserlösliches Antioxidans, diente als Positivkontrolle. Die TBARS sind relativ zu der unbehandelten Kontrolle (KON) dargestellt und Werte in % angegeben. Daten sind Mittelwerte \pm SEM ($n \geq 6$). * Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) im Vergleich zur Kontrolle.

Es gibt verschiedene Mechanismen, anhand derer Taurin zu einer verminderten Lipidperoxidation führen könnte:

- Als “klassischer“ Radikalfänger
- Schutz ungesättigter Fettsäuren der Zellmembranen
- Beeinflussung des Glutathion-Metabolismus
- Inhibition der endogenen Synthese reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) im Mitochondrium
- Induktion antioxidativer Enzyme

Die antioxidativen Eigenschaften von Taurin wurden anhand des Trolox Equivalent Antioxidative Capacity (TEAC) und Ferric Ion Reducing Antioxidant Power (FRAP) Tests ermittelt. Taurin Konzentrationen zwischen 0 und 100 mM wurden getestet und relativ zur antioxidativen Kapazität einer 250 μ M Trolox Lösung (= 100 %) ermittelt. Alle getesteten Taurinkonzentrationen zeigten dabei keine antioxidative Kapazität im Hinblick auf Radikalfänger-Eigenschaften auf.

Um zu testen, ob Taurin die Fettsäuren in der Zellmembran vor Oxidation schützt, wurden kultivierte Zellen mit einem fluoreszierendes Fettsäureanalog (BODIPY 581/591) beladen. Es wurde dabei gezeigt, dass Taurin eine Cumolhydroperoxid (CumOOH) induzierte BODIPY Oxidation inhibiert (Abbildung 5).

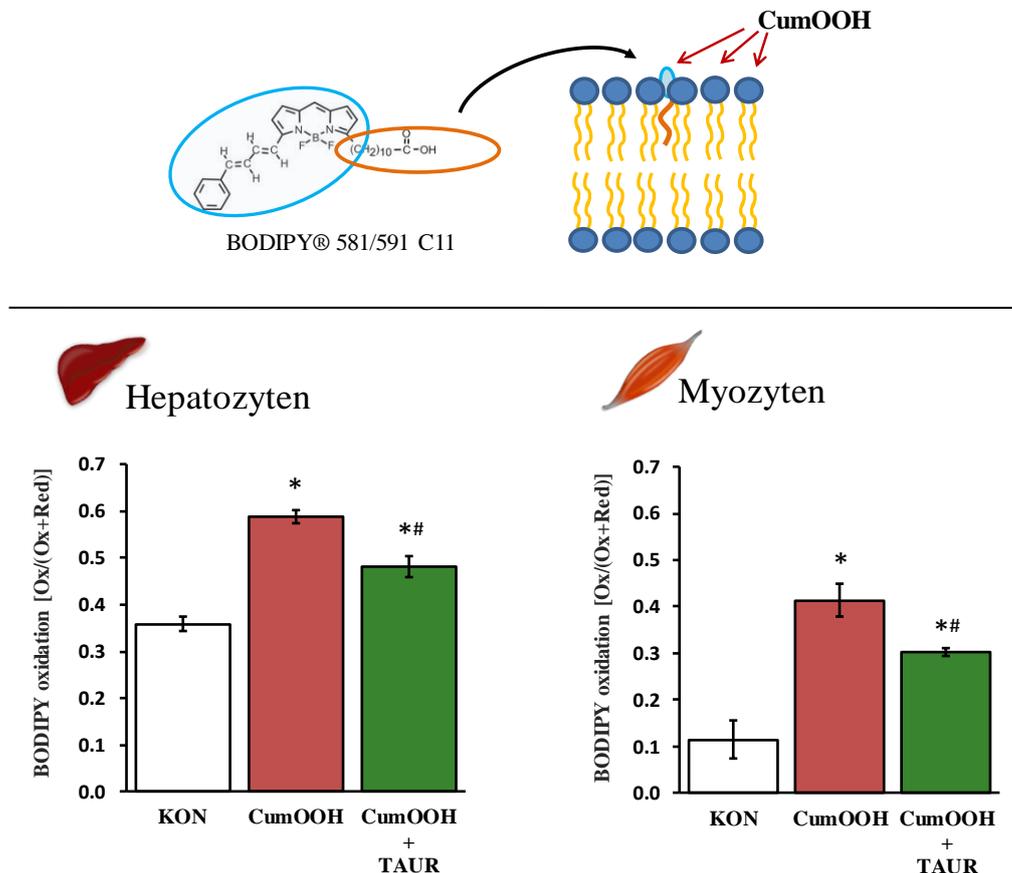


Abbildung 5: Taurin inhibiert Cumolhydroperoxid induzierte Lipidperoxidation.

Zellmembranen von Hepatozyten und Myozyten wurden mit einem lipophilen, fluoreszierenden Fettsäureanalog (BODIPY 581/591) beladen und anschließend mit Cumolhydroperoxid (CumOOH) gestresst. Die fluoreszierenden Eigenschaften des BODIPY Farbstoffes verändern sich im oxidierten Zustand. Das Verhältnis von oxidiertem BODIPY [Ox] zum Gesamt-BODIPY [Ox + Red] wurde ermittelt. CumOOH führte zu einem deutlichen Anstieg der BODIPY Oxidation im Vergleich zur Kontrolle (KON). Eine Vorinkubation mit Taurin (TAUR) wirkt diesem Effekt entgegen. Daten sind als Mittelwerte \pm SEM dargestellt ($n \geq 6$). * Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) im Vergleich zur Kontrolle. # Kennzeichnet signifikanten Unterschied zwischen CumOOH und CumOOH + TAUR.

Glutathion, das wichtigste körpereigene zytosolische Antioxidans, war in beiden Zelltypen nach einer 24 stündigen Taurinbehandlung verringert (Abbildung 6A). Generell wiesen Hepatozyten höhere Glutathiongehalte als Myozyten auf (124 vs. 33 μ M/g in der Kontrolle). Absolut verringerte die Taurinbehandlung den

Glutathiongehalt beider Zelllinien im ähnlichen Maße. Die relative mRNA Expression von Genen, die für Glutathion synthetisierende Enzyme kodieren (Abbildung 6B), ist für beide Zelllinien nicht gleichgerichtet reguliert. Während die Expression der γ -Glutamylcysteine Synthetase (γ GCS) in den Hepatozyten durch eine Taurinbehandlung erhöht ist, ist diese in den Myozyten signifikant verringert. Die Inhibierung der Expression von Cystathionin γ -Lyase (CTH) und Glutathion Synthetase (GSS) in den Hepatozyten, lässt jedoch eine verminderte Glutathionsynthese vermuten (Abbildung 6C).

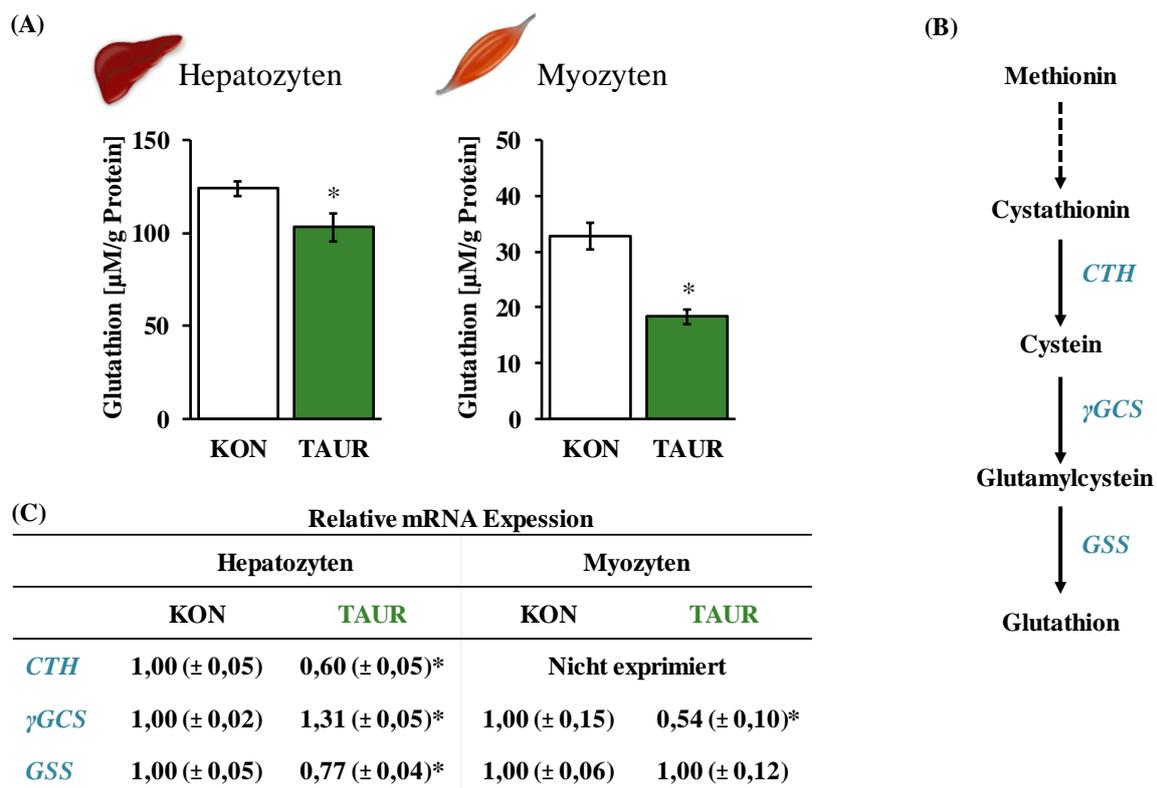


Abbildung 6: Taurin vermindert Glutathiongehalte in Hepatozyten und Myozyten.

(A) Taurin (TAUR) verringert die Glutathiongehalte [μ M/g Protein] in Hepatozyten und Myozyten signifikant im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (KON). (B) Glutathionsynthese, mit Hilfe der entsprechenden Enzyme: Cystathionin γ -Lyase (CTH), γ -Glutamylcysteine Synthetase (γ GCS) und Glutathion Synthetase (GSS). (C) Die relative mRNA Expression von CTH, γ GCS und GSS. Daten sind Mittelwerte \pm SEM ($n \geq 6$). * Signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) im Vergleich zur Kontrolle.

Endogen produzierte ROS haben ihren Ursprung primär im Mitochondrium. Das Superoxid Anion ist ein unerwünschtes Nebenprodukt der mitochondrialen Atmung und wird insbesondere an Komplex I und III der Atmungskette generiert (Suski et al. 2012). In der Regel geht ein erhöhter oxidativer Stress durch ROS mit einem Verlust des Membranpotentials und der ATP Synthese einher (Joshi und Bakowska 2011). In eigenen Zellkulturstudien mit Myozyten

wurde kein Unterschied zellulärer ROS Spiegel, dem mitochondrialen Membranpotential und zellulärer ATP-Gehalte zwischen der Kontrolle und der Taurinbehandlung gefunden. Auch die mRNA steady-state Spiegel verschiedener Gene, die für antioxidative Enzyme kodieren (Superoxid Dismutase 2, Katalase, Glutathionperoxidase 1), weisen keinen signifikanten Änderungen auf. Demgegenüber führte eine Taurininkubation zu einer signifikanten Verringerung der Häm Oxigenase-1 mRNA Spiegel. Somit wirkte Taurin weder als genereller Induktor, noch als Suppressor antioxidativer Enzyme.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Taurin natürlicherweise nur in Lebensmitteln tierischer Herkunft vorkommt. Eine Taurindepletion führt in erster Linie zur Schädigung der Retina sowie der Skelett- und Herzmuskulatur. Zytoprotektive Effekte des Taurins scheinen dabei primär durch den antioxidativen Schutz von PUFAs in Biomembranen vermittelt zu werden.

Literaturverzeichnis

- Anderson, Catriona M. H.; Howard, Alison; Walters, Julian R. F.; Ganapathy, Vadivel; Thwaites, David T. (2009): Taurine uptake across the human intestinal brush-border membrane is via two transporters: H⁺-coupled PAT1 (SLC36A1) and Na⁺- and Cl⁻-dependent TauT (SLC6A6). In: *The Journal of Physiology* 587 (4), S. 731–744.
- Grafe, Franziska; Wohlrab, Wolfgang; Neubert, Reinhard H.; Brandsch, Matthias (2004): Functional characterization of sodium- and chloride-dependent taurine transport in human keratinocytes. In: *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics* 57 (2), S. 337–341.
- Han, X.; Patters, A. B.; Jones, D. P.; Zelikovic, I.; Chesney, R. W. (2006): The taurine transporter: mechanisms of regulation. In: *Acta physiologica (Oxford, England)* 187 (1-2), S. 61–73.
- Hayes, K.; Carey, R.; Schmidt, S. (1975): Retinal degeneration associated with taurine deficiency in the cat. In: *Science* 188 (4191), S. 949–951.
- Heller-Stilb, B. (2001): Disruption of the taurine transporter gene (taut) leads to retinal degeneration in mice. In: *The FASEB Journal*.
- Huxtable, R. J. (1992): Physiological actions of taurine. In: *Physiological Reviews* 72 (1), S. 101–163.
- Ikeda, Saori; Tachikawa, Masanori; Akanuma, Shin-ichi; Fujinawa, Jun; Hosoya, Ken-ichi (2012): Involvement of γ -aminobutyric acid transporter 2 in the hepatic uptake of taurine in rats. In: *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology* 303 (3), S. G291.

- Ito, Takashi; Kimura, Yasushi; Uozumi, Yoriko; Takai, Mika; Muraoka, Satoko; Matsuda, Takahisa et al. (2008): Taurine depletion caused by knocking out the taurine transporter gene leads to cardiomyopathy with cardiac atrophy. In: *Journal of Molecular and Cellular Cardiology* 44 (5), S. 927–937.
- Joshi, Dinesh C.; Bakowska, Joanna C. (2011): Determination of mitochondrial membrane potential and reactive oxygen species in live rat cortical neurons. In: *Journal of visualized experiments : JoVE* (51).
- Laidlaw, S. A.; Grosvenor, M.; Kopple, J. D. (2016): The taurine content of common foodstuffs. In: *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 14 (2), S. 183–188.
- Purchas, R. W.; Rutherford, S. M.; Pearce, P. D.; Vather, R.; Wilkinson, B.H.P. (2004): Concentrations in beef and lamb of taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine. In: *Meat Science* 66 (3), S. 629–637.
- Spitze, A. R.; Wong, D. L.; Rogers, Q. R.; Fascetti, A. J. (2003): Taurine concentrations in animal feed ingredients; cooking influences taurine content. In: *Journal of animal physiology and animal nutrition* 87 (7-8), S. 251–262.
- Suski, Jan M.; Lebieczinska, Magdalena; Bonora, Massimo; Pinton, Paolo; Duszynski, Jerzy; Wieckowski, Mariusz R. (2012): Relation between mitochondrial membrane potential and ROS formation. In: *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)* 810, S. 183–205.
- Tiedemann, F.; Gmelin, L. (1827): Einige neue Bestandteile der Galle des Ochsen. In: *Annalen der Physik und Chemie* 9, S. 526-529.
- Tripaldi, C.; Martillotti, F.; Terramoccia, S. (1998): Content of taurine and other free amino acids in milk of goats bred in Italy. In: *Small Ruminant Research* 30 (2), S. 127–136.
- Warskulat, U. (2004): Taurine transporter knockout depletes muscle taurine levels and results in severe skeletal muscle impairment but leaves cardiac function uncompromised. In: *The FASEB Journal*.
- Yamori, Yukio; LIU, Longjian; IKEDA, Katsumi; MIURA, Ayako; MIZUSHIMA, Shunsaku; MIKI, Tomohiro et al. (2001): Distribution of Twenty-Four Hour Urinary Taurine Excretion and Association with Ischemic Heart Disease Mortality in 24 Populations of 16 Countries: Results from the WHO-CARDIAC Study. In: *Hypertens Res* 24 (4), S. 453–457.

Noch immer aktuell:

Schutz von ungesättigten Lipiden vor Oxidation in Lebensmitteln

Jonas Amft, Jonas Bauer, Karin Schwarz

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

Abteilung Lebensmitteltechnologie

Warum sollte man ungesättigte Lipide vor Oxidation schützen?

Unter ungesättigten Lipiden versteht man Fette mit ungesättigten Fettsäuren mit einer (MUFA, z.B. Ölsäure) oder mehreren Doppelbindungen (PUFA, z.B. Linolsäure). Je mehr Doppelbindungen in einer Fettsäure vorliegen, desto empfindlicher ist sie gegenüber Oxidation (Baltes 2007; Camire 2000). Das Schützen dieser Stoffe vor unerwünschten Oxidationsreaktionen hat daher immer mehr an Bedeutung gewonnen. Das liegt daran, dass vor allem die als sehr gesund geltenden ungesättigten Lipide durch Oxidation ihre positiven Eigenschaften, beispielsweise ihre positiven Effekte auf das Risiko koronarer Herzkrankheiten (Mozaffarian et al. 2010), verlieren. Dabei entstehende Oxidationsprodukte können sogar negativ wirken (karzinogene Eigenschaften, DNA-Schädigung, Toxizität).

Des Weiteren kommt es in Folge der Oxidation von ungesättigten Fettsäuren zur Bildung flüchtiger Komponenten, die der Verbraucher als ranzigen Geruch und Geschmack bezeichnet. Es besteht daher dringender Bedarf die Mechanismen zu kennen, die zum Schutz von Lebensmitteln, als komplexe Matrices mit einer hohen Anzahl an Einflussfaktoren, führen.

Oxidation von ungesättigten Lipiden

Die Oxidation von Lipiden kann als rein chemische Reaktion ablaufen, dies ist insbesondere bei Lebensmitteln mit niedrigen Wassergehalten der Fall. Bei hohem Wassergehalten und Anwesenheit von Enzymen oder Mikroorganismen kann die sogenannte enzymatische Lipid Oxidation ebenfalls stattfinden.

Bei der chemischen Oxidation von Fetten reagieren ungesättigte Fettsäuren unter Bildung von Radikalen mit Luftsauerstoff. Hierbei entstehen sogenannte Hydroperoxide, das sind Fettsäuren, in denen Sauerstoff peroxidisch gebunden ist. Hydroperoxide sind die primären Oxidationsprodukte (Abbildung 1). Ihr Gehalt wird klassischerweise mit der Peroxidzahl bestimmt. Dieser Wert hat allerdings nur eine geringe Aussagekraft, da es im weiteren Zeitverlauf zu einem Abbau der Hydroperoxide zu flüchtigen sekundären Oxidationsprodukten wie z.B. Hexanal oder Propanal kommt. Diese Oxidationsprodukte verändern die sensorischen Eigenschaften eines Produktes und werden mittels Headspace-Gaschromatographie gemessen (Halliwell und Chirico 1993; Choe und Min 2006).

Die „Lipidoxidation“ ist eine radikalisch ablaufende Kettenreaktion, die durch verschiedene Faktoren begünstigt wird. Zu den Initiatoren der Lipidoxidation zählen Licht, Wärme oder auch Prooxidantien (Frankel 1984; Belingheri et al. 2015; Minotti und Aust 1992; Schaich 1992).

Um Lipide vor unerwünschter Oxidation zu schützen bieten sich verschiedene Maßnahmen an, die unter dem Punkt „Schutz von ungesättigten Lipiden in Extrudaten vor Oxidation“ vorgestellt werden und auf viele weitere Produktgruppen übertragbar sind.

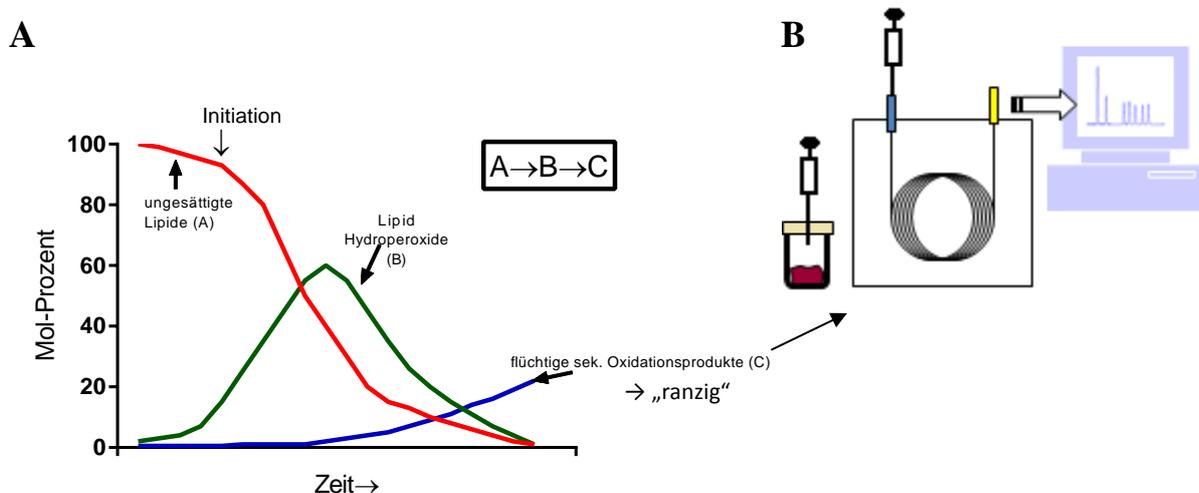


Abbildung 1:A: Kinetik der Oxidation von ungesättigten Lipiden und
B: Prinzip der Messung von flüchtigen Oxidationsprodukten mittels Headspace-Gaschromatographie

Extrusion – eine Technologie zur Produktion von trockenen Lebensmitteln

Eine Technologie mit hoher Relevanz für die Produktion von trockenen Lebensmitteln als auch Futtermitteln, wie z.B. Cerealien, Snackartikeln oder Tiertrockenfutter ist die Extrusionstechnologie. Aber auch Pasta, Fleischersatzprodukte (TVP = texturized vegetable protein) oder Flachbrote werden mit dieser Schlüsseltechnologie, die viele Produktionsschritte, wie z.B. Mischen, Kneten, Texturieren, Rösten, Schmelzen, Sterilisieren und Trocknen vereint, produziert (Meuser et al. 2004; Lillford 2008). Als „Extrudate“ werden daher alle mit dieser Technologie produzierten Produkte bezeichnet, welche durch die kontinuierliche Pressung einer Rohmasse unter hohem Druck und möglicher Temperatureinwirkung durch eine formgebende Düse entstehen.

Bei der Extrusion unterscheidet man zwischen Kalt- und Kochextrusion. Zudem wird zwischen Einschnecken- und Doppelschneckenextrudern unterschieden. Eine industriell weit verbreitete Kombination ist die Kochextrusion mittels eines Doppelschneckenextruders (Schuchmann und Schuchmann 2005). Im Folgenden wird sich auf diese Bauweise bezogen und auch die vorgestellten Experimente erfolgten mit einem entsprechenden Extruder (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Fotos des Extruders und der untersuchten Extrudate

Der schematische Aufbau eines Extruders ist in Abbildung 3 dargestellt. Die zu extrudierende Masse, ein Premix aus stärkehaltiger Komponente, Wasser und Lipiden wird über eine Dosierwaage den Schnecken zugeführt, die die Rohmasse in das temperierte Schneckengehäuse transportieren. Aufgrund einer speziellen Schneckengeometrie kommt es zu einer Mischung, Verdichtung und Scherung der Extrusionsmasse (Huber 2000). Gleichzeitig steigt die Temperatur über die

Verkleisterungstemperatur. Dabei verkleistert die Stärke teilweise und formt eine amorphe Matrix, in die Lipide unterschiedlich stark eingeschlossen und damit geschützt werden können. Am vorderen Ende des Extruders sitzt die formgebende Düse. Die Extrusionsmasse wird durch die Düse gepresst und aufgrund eines Druck- und Temperaturabfalls expandiert das Produkt am Düsenaustritt und rekristallisiert beim Abkühlen und Trocknen (Schuchmann 2008).

Dabei entsteht ein Produkt mit einer hohen spezifischen Oberfläche, die eine Oxidation der enthaltenen Lipide, durch einen erhöhten Sauerstoffkontakt, fördert.

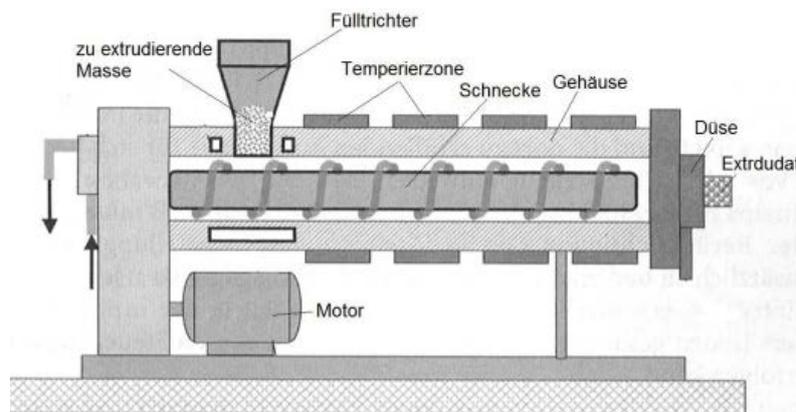


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Extruders (modifiziert nach Meuser et al. (2004))

Schutz von ungesättigten Lipiden in Extrudaten vor Oxidation

Extrudate lassen sich vor der Oxidation enthaltener ungesättigter Lipide durch verschiedene Maßnahmen schützen. Die Industrie nutzt klassischerweise Antioxidantien, um in Lebensmitteln enthaltene Fette und Öle vor Oxidationsreaktionen zu schützen. Zudem bietet sich auch eine dunkle Lagerung (lichtundurchlässige Folie oder braune Flasche, z.B. bei Pflanzenölen) bei niedrigen Temperaturen an. Eine weitere Möglichkeit ist die Reduzierung des Sauerstoffkontaktes, wie die Studie von Drusch et al. (2007) bei der Untersuchung von mikroverkapseltem Fischöl durch einen Sprühtrocknungsprozess zeigte. Hierbei wurden Lipidtröpfchen in eine stärke- und proteinhaltige Matrix eingeschlossen und durch Trocknung in den Partikeln fixiert. Ein reduzierter Sauerstoffkontakt lässt sich somit durch ein schützendes Coating oder eine Verpackung unter Schutzgasatmosphäre realisieren. Aber auch eine gezielte Steuerung des Extrusionsprozesses mit dem Ziel, den Anteil vom inneren bzw. komplexierten Fett zu erhöhen oder eine kompakte Struktur herzustellen, bietet die Möglichkeit, die Sauerstoffmigration in das Produkt und damit den Kontakt mit dem Fett zu hemmen.

Lipide können auf verschiedene Weise in ein Extrudat inkorporiert sein (Abbildung 4 A). Zum einen kommt es während der Extrusion durch die wirkenden Scherkräfte zu einer dispersen Verteilung der Lipidtröpfchen in der amorphen Stärkematrix. Bislang wenig erforscht ist in welchem Ausmaß und wie stark die Lipide auf bzw. in die Stärkelamellen der Extrudatmatrix eingeschlossen werden.

Zum anderen ist in der Literatur beschrieben, dass es bei der Extrusion zur Bildung sog. Amylose-Lipid-Komplexe (Abbildung 4 B) kommen kann. Dabei werden (freie) Fettsäuren und Monoglyceride aber keine Triglyceride in die Amylose-Helix eingebunden und komplexiert (Abu-hardan et al. 2011; Genkina et al. 2015; Bhatnagar und Hanna 1994). In Studien wurde diese Komplexbildung mit einer höheren Oxidationsstabilität assoziiert (Guzman et al. 1992; Thachil et al. 2014).

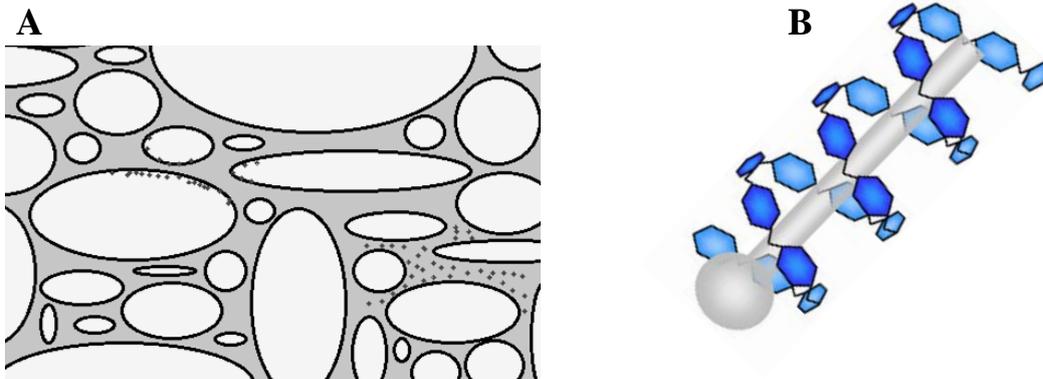


Abbildung 4: Möglichkeiten des Lipideinschlusses in Extrudate

A: in die Stärkematrix inkorporierte Lipide (Punkte); B: Amylose-Lipid-Komplex (Quelle: Putseys et al. (2010))

Um festzustellen, welchen Einfluss unterschiedliche Grade der Lipidbindung und des Lipideinschlusses auf die Oxidation und die damit einhergehende Lagerstabilität haben, wurde im nachfolgend vorgestellten Experiment eine fraktionierte Fettextraktion der im Extrudat enthaltenen Lipide durchgeführt. Dadurch konnten die Lipide im Extrudat in Oberflächenfett, schwach gebundenes Fett und stark gebundenes bzw. komplexiertes Fett getrennt werden. Die Analysen zeigten, dass mit steigendem Einschlussgrad der Gehalt an Oxidationsprodukten abnimmt. Komplexierte Lipide wiesen etwa 25% niedrigere Hydroperoxidgehalte auf als Fette, die ungebunden im Extrudat vorlagen. Außerdem haben die Versuche gezeigt, dass Oberflächenfett um ein vielfaches stärker oxidiert als Lipide, die im Kern des Extrudates vorliegen. Ein Erklärungsansatz ist, dass es durch einen stärkeren Lipideinschluss zu einer

verminderten Sauerstoffmigration in die Extrudatmatrix kommt, wodurch die Oxidation verzögert abläuft.

Ergänzende Versuche zeigten, dass es durch ein gezieltes Coating mit einer Schutzschicht aus MCT-Öl, einem schwer oxidierbaren Öl, möglich ist, die Oxidation in Extrudaten zu verlangsamen. Zurückführen lässt sich dies auf den gehinderten Kontakt von Umgebungssauerstoff mit Lipiden. Zudem wurde deutlich, dass eine hohe Lagerstabilität auch stark von der Struktur eines Extrudates abhängt, die sich beispielsweise durch Rohstoffauswahl und Wassergehalt steuern lässt.

Fazit

Der Schutz vor Oxidation der ungesättigten Lipide bleibt eine Herausforderung für die Forschung und Entwicklung von Lebensmitteln. Zusammenfassend lässt sich jedoch festhalten, dass es mit Hilfe einer gezielten Prozesssteuerung und durch die richtige Wahl der Rezeptur möglich ist, Extrudate herzustellen, die einen hohen Anteil an inkorporierten Fett aufweisen. Diese Extrudate lassen sich so vor Oxidation der ungesättigten Lipide schützen. Aber auch schützende Coatings bieten sich an, um den Sauerstoffkontakt zu minimieren und so die Oxidationsreaktionen zu verzögern. Gleichzeitig ist eine möglichst niedrige Lagertemperatur zu wählen.

Literaturverzeichnis

- Abu-hardan, Madian; Hill, Sandra E.; Farhat, Imad (2011): Starch conversion and expansion behaviour of wheat starch cooked with either; palm, soybean or sunflower oils in a co-rotating intermeshing twin-screw extruder. In: *International Journal of Food Science & Technology* 46 (2), S. 268–274. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2010.02473.x.
- Baltes, Werner (2007): Lebensmittelchemie. S.75-80. 6. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Belingheri, Claudia; Giussani, Barbara; Rodriguez-Estrada, Maria Teresa; Ferrillo, Antonio; Vittadini, Elena (2015): Oxidative stability of high-oleic sunflower oil in a porous starch carrier. In: *Food Chemistry* 166, S. 346–351. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.06.029.
- Bhatnagar, S.; Hanna, M.A (1994): Amylose-Lipid Complex Formation During Single-Screw Extrusion of Various Corn Starches. In: *Cereal Chemistry* 71 (6), S. 582–587.
- Camire, Mary E. (2000): Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In: M. N. Riaz (Hg.): *Extruders in food applications*. 1. Aufl. Boca Raton: CRC Press, S. 127–147.
- Choe, E.; Min, D. B. (2006): Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5, S. 169–186.
- Drusch, Stephan; Serfert, Yvonne; Scampicchio, Matteo; Schmidt-Hansberg, Benjamin; Schwarz, Karin (2007): Impact of physicochemical characteristics on the oxidative stability of fish oil microencapsulated by spray-drying. In: *Journal of agricultural and food chemistry* 55 (26), S. 11044–11051. DOI: 10.1021/jf072536a.
- Frankel, Edwin N. (1984): Lipid oxidation: Mechanisms, products and biological significance. In: *JAOCS* 61 (12), S. 1908–1917.
- Genkina, Natalia K.; Kiseleva, Valentina I.; Martirosyan, Vladimir V. (2015): Different types of V amylose-lipid inclusion complexes in maize extrudates

- revealed by DSC analysis. In: *Starch - Stärke* 67 (9-10), S. 752–755. DOI: 10.1002/star.201500012.
- Guzman, L. B.; Lee, T. C.; Chichester, C. O. (1992): Lipid binding during extrusion cooking.
- Halliwell, B.; Chirico, S. (1993): Lipid peroxidation - its mechanism, measurement, and significance. In: *Am J Clin Nutr* 57 ((suppl)), S. 715.
- Huber, G. R. (2000): Twin-Screw Extruders. In: M. N. Riaz (Hg.): *Extruders in food applications*. 1. Aufl. Boca Raton: CRC Press, S. 81–114.
- Lillford, Peter J. (2008): Extrusion. In: José Miguel Aguilera und Peter J. Lillford (Hg.): *Food materials science. Principles and practice*. New York, NY: Springer (Food engineering series), S. 415–435.
- Meuser, F.; Meuser, S.; Wiedmann, W. (2004): Grundlagen des Extrudierens. In: Rudolf Heiss (Hg.): *Lebensmitteltechnologie. Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung*. Völlig überarbeitete sechste Auflage. Berlin, Heidelberg, s.l: Springer Berlin Heidelberg, S. 523–539.
- Minotti, G.; Aust, S. D. (1992): Redox cycling of iron and lipid peroxidation. In: *Lipids* 27 (3), S. 219–226.
- Mozaffarian, Dariush; Micha, Renata; Wallace, Sarah (2010): Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. In: *PLoS medicine* 7 (3), e1000252. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000252.
- Putseys, J. A.; Lamberts, L.; Delcour, J. A. (2010): Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties. In: *Journal of Cereal Science* 51 (3), S. 238–247. DOI: 10.1016/j.jcs.2010.01.011.
- Schaich, K. M. (1992): Metals and lipid oxidation. Contemporary issues. In: *Lipids* 27 (3), S. 209–218.
- Schuchmann, H. P. (2008): Extrusion zur Gestaltung von Lebensmittelstrukturen. In: *Chemie Ingenieur Technik* 80 (8), S. 1097–1106. DOI: 10.1002/cite.200800065.

Schuchmann, Heike P.; Schuchmann, Harald (2005):
Lebensmittelverfahrenstechnik. "Extrusion von Lebensmitteln" p.189-218.
Weinheim: Wiley-VCH.

Thachil, Madonna T.; Chouksey, Mithlesh K.; Gudipati, Venkateshwarlu (2014):
Amylose-lipid complex formation during extrusion cooking: effect of
added lipid type and amylose level on corn-based puffed snacks. In: *Int J
Food Sci Technol* 49 (2), S. 309–316. DOI: 10.1111/ijfs.12333.

Ribonucleoside in Kuh-, Schaf-, Ziegen- und Kamelmilch

Dierk Martin

Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel

Ribonucleoside zählen zu den minoren Milchinhaltstoffen, die mit etwa 0,1 Gewichtsprozenten in der Kuhmilch vorliegen. Neben den Ribonucleosiden gehören auch Ribonucleotide und Vitamine sowie eine Vielzahl noch unbekannter organischer Substanzen zu diesen Minorkomponenten [1]. Ribonucleoside gelangen als Stoffwechselprodukte des zellulären Ribonucleinsäuren- und Ribonucleotidstoffwechsels in die Milch [2]. Strukturell betrachtet sind Ribonucleoside Purin- und Pyrimidinverbindungen, die N-glykosidisch an β -D-Ribofuranose gebunden sind [3]. Ribonucleotide sind ortho-Phosphorsäureester von Ribonucleosiden.

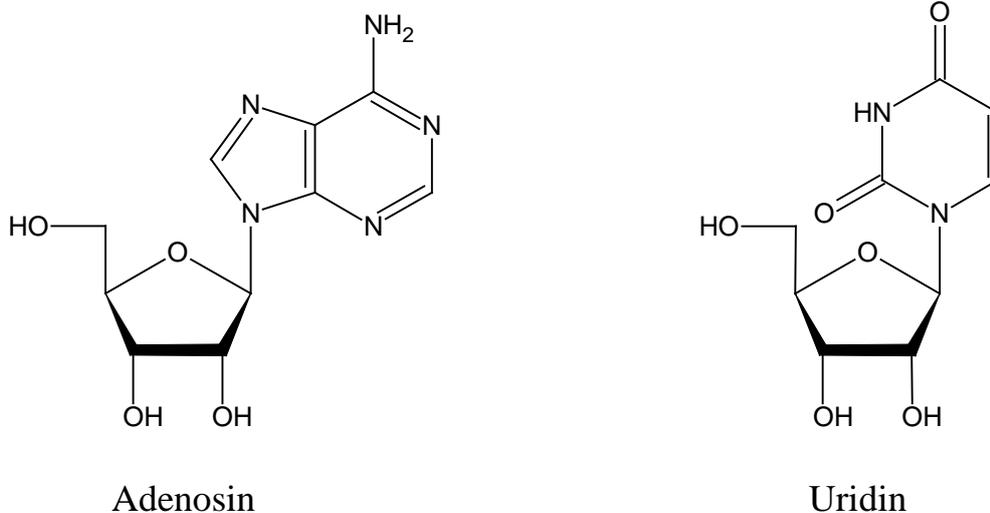


Abb. 1: Struktur von Ribonucleosiden am Beispiel Adenosin (Purin-Ribonucleosid) und Uridin (Pyrimidin-Ribonucleosid).

Die **Ribonucleosid-Bestimmung** in Milch und Milchprodukten erfolgt mit Hilfe der Zwei-Säulen-HPLC-Technik: Das angewendete Analysensystem besteht aus zwei voneinander unabhängigen chromatographischen Untereinheiten, die durch ein automatisches Hochdruck-6-Wege-Ventil miteinander verbunden bzw. voneinander getrennt werden können. Hierbei werden die Ribonucleoside in einer mit chemisch modifiziertem Aminophenylboronsäure-Gel gefüllten Vorsäule

kovalent aus der entsprechenden Matrix gebunden. Beim Transferschritt werden die Milchribonucleoside in die analytische Säule eluiert und hier an einer Umkehrphase (RP-18-Phase) aufgetrennt. Die Detektion erfolgt mit einem Diodenarray-Detektor bei einer Messwellenlänge von 260 nm [4]. Bei Anwendung eines automatischen Probengebers („auto-sampler“) ist ein 24 stdg. Betrieb möglich. Bei üblichen Ribonucleosidbestimmungen wird ein Standard verwendet, der folgende Ribonucleoside enthält: Cytidin (Cyd), Uridin (Urd), Guanosin (Guo), Inosin (Ino), Adenosin (Ado), 1-Methyladenosin (m1Ado), N6-Carbamoylthreonyladenosin (t6Ado), N6-Methyladenosin (m6Ado), N6-Dimethyladenosin (m6,2Ado).

Das im MRI etablierte Analysenverfahren wurde in der Vergangenheit für die Ribonucleosid-Bestimmung in Milch und Milchprodukten sowie anderen biologischen Matrices angewendet. So wurde in **wärmebehandelten Milchproben Ribonucleosid-Gehaltsveränderungen** bestimmt und die prozentualen Gehaltsveränderungen der einzelnen Ribonucleoside z. B. in thermisierten bzw. dauererhitzten Milchproben berechnet: Die größten Gehaltsveränderungen gegenüber der eingesetzten Rohmilch wurden, mit Ausnahme von Urd, in den unter Bedingungen der Dauererhitzung hergestellten Proben beobachtet [5]. Im Temperaturbereich der Kurzzeiterhitzung wurden im direkten Vergleich wesentlich geringere Gehaltsveränderungen bestimmt als bei 62°C Prozesstemperatur [5]. Die beobachteten Gehaltsveränderungen sind durch Enzym-katalysierte Reaktionen erklärbar, so z. B. durch die **Adenosin-Desaminase** (ADA, EC 3.5.4.4), die spezifisch Ado oxidativ zu Ino desaminiert. Im Institut wurde daher ein Verfahren zur ADA-Aktivitätsbestimmung in Milch entwickelt, bei dem durch Quantifizierung des enzymatischen Produkts Ino die Enzymaktivität direkt bestimmt wird. Im Rahmen der Aktivitätsbestimmungen in wärmebehandelten Milchproben konnte gezeigt werden, dass ADA ein geeigneter Hitzeindikator zur Unterscheidung von kurzzeit- und hocherhitzter Milch ist [6-9]. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Ribonucleosid-Analytik zur Beschreibung der **Wärmebehandlung von Milch** ist die thermisch-induzierte Bildung von **N6-Methyladenosin (m6Ado)**: Die m6Ado-Bildung ist ein geeigneter chemischer Indikator zur Beschreibung der Wärmebelastung von Milchproben des oberen Hocherhitzungsbereiches bis zum praxisrelevanten Sterilbereich ist [5, 10].

Neben dem Einfluss der Temperatur ist auch der Einfluss des Parameters Druck von Interesse: So konnten **Ribonucleosid-Gehaltsveränderungen** bei der **Hochdruck-Behandlung von Milch** bestimmt werden, so wurden z. B. in Rohmilch bei Cyd, Urd und abgeschwächt auch bei Guo und Ado hochdruckbedingte Gehaltszunahmen beobachtet. Bei Ino hingegen wurden in den Normaldruckproben höhere Konzentrationen gefunden als in den Hochdruckbehandelten Proben. Die beobachteten hochdruckbedingten Ribonucleosid-

Freisetzungen konnten weitestgehend durch die Aktivität der Alkalischen Phosphatase erklärt werden [11, 12].

Ein weiteres Beispiel für die praktische Anwendung von Ribonucleosiden in Milch ist die **Buttersortenzuordnung**: In den Buttersorten Süßrahm, mild gesäuert und Sauerrahm liegen unterschiedliche Gehalte an Ado und Urd, aber auch an Milch- und Citronensäure vor. Mit Hilfe der genannten Analyten berechnet man Buttersortenindices, mit denen eine Buttersortenbestimmung möglich ist [13]. Einfacher geht es mit Hilfe eines trainierten neuronalen Netzwerks, bei dem die Parameter Citronensäure-Konzentration und pH des Butterplasmas für eine Zuordnung ausreichen. Nur im Grenzbereich zwischen Sauerrahm und mild gesäuerter Butter kann die Eingabe von Ado- und Urd-Gehalten notwendig sein [14].

In einem MRI-internen Projekt wurde das beschriebene Ribonucleosid-Analysesystem auch für **Fisch- und Fleischproben** angewendet: Hierbei wurden u. a. **Forellen** untersucht. Das Ribonucleosid Ino lag in den untersuchten Proben mit Abstand mit der höchsten Konzentration vor (ca. 60 bis 160 mg/100 g). Bei den untersuchten **Fleischproben** (Schweinebacke) konnten auch nur unmodifizierte Ribonucleoside nachgewiesen werden. Auch hier liegt das Ino in der höchsten Konzentration vor (rd. 57 mg/100 g) vor. Im Projekt wurde gezeigt, dass in Fisch und Fleisch um etwa 2 Zehnerpotenzen höhere Gehalte an frei verfügbaren Ribonucleosiden vorliegen als in Kuhrohmlch [15].

Bei den Untersuchungen von **Rohmilchproben** von **Kuh, Schaf, Ziege und Kamel** wurden prinzipiell Sammelmilchproben (Morgen- und Abendgemelk) ohne kolostrale Proben untersucht. Die Proben wurden von der Versuchsstation Schaedtбек des MRI (Kuh, Rasse: Holstein Schwarz-Bunt), vom Institut für Ökologischen Landbau des Thünen-Instituts, Trenthorst (Schaf, Rasse: Ostfriesisches Milchschaaf; Ziege, Rasse: Bunte deutsche Edelziege) sowie von der Dubai Camel Dairy Farm (Kamel, Rasse: Camelus dromedarius) erhalten [16].

In Kuhrohmsammelmilch konnten die Ribonucleoside Cyd, Urd, Ino, Guo und Ado sowie die modifizierten Ribonucleoside m1Ado und t6Ado in unterschiedlichen Konzentrationen bestimmt werden, wobei Urd mit rd. 14,7 $\mu\text{mol/l}$ in der höchsten Konzentration und m1Ado mit 0,4 $\mu\text{mol/l}$ in der geringsten Konzentration vorlag (Tab. 1) [16, 17].

Die Untersuchung von Schaf- und Ziegenmilchproben wurde aus organisatorischen Gründen im Rahmen zweier zeitlich unabhängiger Studien (1. und 2. Studie, siehe Tab. 2 und 3) durchgeführt. In Schafmilch konnten im Vergleich zur Kuhmilch wesentlich höhere Gehalte an freien Ribonucleosiden nachgewiesen werden. Auch in Schafmilch wurden die modifizierten Ribonucleoside m1Ado und t6Ado bestimmt. Zwischen der 1. und 2. Studie sind bei den einzelnen Ribonucleosiden geringfügige Unterschiede erkennbar [16] [Tab. 2]. Auch in Ziegenmilch wurden neben den unmodifizierten auch die modifizierten Ribonuc-

leoside m1Ado und t6Ado nachgewiesen. Im Vergleich zur Kuhmilch liegen auch in Ziegenmilch wesentlich größere Ribonucleosid-Gehalte vor (Tab. 3) [16].

Tab. 1: Ribonucleosid-Gehalte [$\mu\text{mol/l}$] in Kuhmilch (Rohsammelmilch über die gesamte Laktationsperiode mit Ausnahme der ersten 3 Wochen post partum).

[$\mu\text{mol/l}$]	Cyd	Urd	m1Ado	Ino	Guo	Ado	m6Ado	t6Ado	m6,2Ado
Mittelwert	2.44	14.69	0.40	0.97	0.82	1.36	n. d.^a	0.71	n.d.
Min – max (n= 12)	0.53- 10.76	3.63- 68.22	0.17- 1.58	0.01- 3.25	0.10- 2.22	0.06- 3.93	-	0.40- 3.40	-
VC [%] ^b	32	32	20	44	39	49	-	19	-

a: n. d. : Nicht detektierbar.

b: Variationskoeffizient zur Beschreibung der biologischen Schwankung.

Tab. 2: Ribonucleosid-Gehalte [$\mu\text{mol/l}$] in Schafmilch (Sammelmilch, ohne Kolostralmilch).

[$\mu\text{mol/l}$]	Cyd	Urd	m1Ado	Ino	Guo	Ado	m6Ado	t6Ado	m6,2Ado
1. Studie									
Mittelwert	6.74	67.78	1.37	41.21	2.06	8.77	0.02^a	0.72	n. d.^b
\pm s.d.	0.46	0.84	0.06	0.27	0.02	0.09	< 0.01	0.02	
Min – max (n = 8)	3.73- 10.25	47.58- 127.84	0.76- 1.89	25.19- 58.26	1.00- 3.64	3.54- 18.99	0.00- 0.11	0.41- 1.07	-
VC [%] ^c	38	43	29	29	36	57	-	26	-
2. Studie									
Mittelwert	4.93	60.41	2.32	34.41	2.07	7.05	n. d.	0.75	n. d.
\pm s.d.	0.21	0.26	0.14	0.18	0.08	0.07		0.03	
Min – max (n = 10)	2.87- 7.92	40.53- 85.04	1.52- 3.83	22.22- 65.07	1.16- 2.90	1.70- 10.77	-	0.56- 0.93	-
VC [%]	37	22	37	36	28	44	-	19	-

a: m6Ado wurde nur in 3 Proben nachgewiesen.

b: n.d.: Nicht detektierbar.

c: Variationskoeffizient zur Beschreibung der biologischen Schwankung.

Tab. 3: Ribonucleosid-Gehalte [$\mu\text{mol/l}$] in Ziegenmilch (Sammelmilch, ohne Kolostralmilch).

[$\mu\text{mol/l}$]	Cyd	Urd	m1Ado	Ino	Guo	Ado	m6Ado	t6Ado	m6,2Ado
1. Studie									
Mittelwert	8.83	76.27	0.90	60.64	2.89	2.40	n. d.^a	0.59	n.d.
\pm s.d.	0.45	0.59	0.05	0.34	0.01	0.04		0.01	
Min – max (n = 11)	3.89- 21.68	35.96- 114.03	0.60- 1.21	35.84- 84.88	1.99- 3.61	1.81- 3.80	-	0.34- 0.75	-
VC [%] ^b	57	33	17	26	17	24	-	19	-
2. Studie									
Mittelwert	6.31	77.57	1.39	56.05	3.11	3.70	n. d.	0.54	n. d.
\pm s.d.	0.11	0.18	0.09	0.22	0.09	0.07		0.03	
Min – max (n = 10)	4.56- 10.24	58.02- 92.96	0.58- 2.55	35.00- 72.70	1.54- 3.87	1.77- 8.92	-	0.45- 0.67	-
VC [%]	26	16	42	22	21	56	-	16	

a: n.d.: Nicht detektierbar.

b: Variationskoeffizient zur Beschreibung der biologischen Schwankung.

Tab. 4: Ribonucleosid-Gehalte [$\mu\text{mol/l}$] in Kamelmilch (Sammelmilch, ohne Kolostralmilch).

[$\mu\text{mol/l}$]	Cyd	Urd	m1Ado	Ino	Guo	Ado	m6Ado	t6Ado	m6,2Ado
Mittelwert	2.93	10.50	0.09	9.30	2.65	0.15	n. d.^a	0.24	n.d.
\pm s.d.	0.09	0.19	<0.01	0.13	0.04	0.01		0.01	
Min – max (n= 12)	2.08- 4.58	7.83- 14.92	0.08- 0.11	7.85- 10.23	2.21- 3.37	0.09- 0.22	-	0.21- 0.26	-
VC [%] ^b	16	21	8	6	11	26	-	6	-

a: n.d.: Nicht detektierbar.

b: Variationskoeffizient zur Beschreibung der biologischen Schwankung.

In Kamelmilch wurden geringere Konzentrationen an Ribonucleosiden nachgewiesen als in Schaf- und Ziegenmilch [Tab. 4]. So fällt auf, dass die bestimmten Gehalte an Cyd und Urd sich in der gleichen Größenordnung befinden wie die in Kuhmilch bestimmten Gehalte. Auch in Kamelmilch wurden die modifizierten Ribonucleoside m1Ado und t6Ado nachgewiesen, hier jedoch in geringeren Konzentrationen als in Kuhmilch [16].

Prinzipiell haben die Ribonucleosidbestimmungen ergeben, dass im Vergleich zur Kuhmilch a) in den untersuchten Schaf- und Ziegenmilchproben wesentlich höhere Gehalte an unmodifizierten Ribonucleosiden gefunden wurden, insbesondere bei Ino, Cyd und Urd; und b) wurden in den untersuchten Kamelmilchproben höhere Ino- und Guo-Gehalte, bei Ado jedoch geringere Gehalte bestimmt.

Um nun die Unterschiede der Ribonucleosid-Konzentrationen und –Muster der Rohmilch von Kuh, Schaf, Ziege und Kamel darzustellen, wurden Konzentrationsverhältnisse aus den Mittelwerten (siehe Tabellen 1-4) berechnet mit dem Ziel, art-spezifische Gehaltsmuster aufzuzeigen: So konnte man z. B. bei $C_{\text{Ino}}/C_{\text{Ado}}$ und $C_{\text{Guo}}/C_{\text{Ado}}$ tierart-spezifische Unterschiede erkennen: $C_{\text{Ino}}/C_{\text{Ado}}$: 0,71 (Kuh); 4,70 und 4,88 (Schaf, 1. und 2. Studie); 25,27 und 15,15 (Ziege, 1. und 2. Studie); 62,00 (Kamel); $C_{\text{Guo}}/C_{\text{Ado}}$: 0,60 (Kuh); 0,23 und 0,29 (Schaf, 1. und 2. Studie); 1,20 und 0,84 (Ziege, 1. und 2. Studie); 17,67 (Kamel) [16].

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die tierart-spezifischen Ribonucleosid-Gehaltsmuster von Kuh-, Schaf-, Ziegen- und Kamelmilch insbesondere anhand der unmodifizierten Ribonucleoside deutlich erkennbar sind. Eine Unterscheidung von Rohmilchproben dieser vier Tierarten ist daher durch Ribonucleosid-Gehaltsbestimmungen und der Berechnung von Konzentrationsverhältnissen möglich, wie auch statistische Auswertungen bestätigt haben [16].

Um den möglichen Einfluss einer Milchwärmebehandlung auf die Ribonucleosid-Gehalte in Milchproben zu untersuchen, wurden Rohmilchproben der genannten vier Tierarten einer Kurzzeiterhitzung unterworfen. Nach einer Kurzzeiterhitzung wurden in den Milchproben von Kuh, Schaf, Ziege und Kamel nur relativ geringe Gehaltsveränderungen bestimmt [16]. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen aus früheren umfangreichen Wärmebehandlungsversuchen von Kuhmilch [5]. Um weitere Informationen zu erhalten, sollten in Zukunft auch andere Temperatur-Zeit-Bereiche der Milcherhitzung bei der Rohmilch von Schaf, Ziege und Kamel durchgeführt werden, um einen detaillierteren Vergleich zur Kuhmilch durchführen zu können. Ein weiterer Aspekt ist die Herstellung von Trockenprodukten durch Sprühtrocknung: Hierbei sollte der Einfluss einer Sprühtrocknung auf Ribonucleosid- und Ribonucleotid-Gehalte in den genannten Milchproben untersucht werden, um wichtige Informationen für die Produktion und Zusammensetzung von maßgeschneiderten Pulverprodukten, wie z. B. Säuglingsnahrungsmittel, zu erhalten. Hier besteht noch Forschungs-

bedarf, zumal gemäß der Richtlinie 2013/46/EU [18] die Anwendung von Ziegenmilch als Proteinquelle bei der Herstellung von Säuglingsnahrungsmitteln erlaubt ist.

Literatur:

- [1] Schlimme, E., Buchheim, W.: Milch und ihre Inhaltsstoffe. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen (1995) (*und dort zitierte Literatur*).
- [2] Voet, D., Voet, J. G.: Biochemie. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim (1994).
- [3] Beyer, H., Walter, W.: Lehrbuch der Organischen Chemie (22. Auflage). S. Hirzel Verlag, Stuttgart (1991).
- [4] Schlimme, E., Boos, K.-S.: Journal of Chromatography Library, Vol. **45c** C115-C145 (1990).
- [5] Martin, D., Kiesner, C., Schlimme, E.: Nahrung/Food **41** 258 - 267 (1997).
- [6] Martin, D., Kiesner, C., Lorenzen, P. Chr., Schlimme, E.: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **50** (3) 225 - 233 (1998).
- [7] Martin, D., Lorenzen, P. Chr., Kiesner, C., Schlimme, E.: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **51** (4) 343 - 355 (1999).
- [8] Martin, D., Schlimme, E.: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **54** (4) 305 – 315 (2002).
- [9] Martin, D.: Ernährung/Nutrition **34** (6) 257 – 263 (2010).
- [10] Schlimme, E., Ott, F.-G., Kiesner, C.: International Dairy Journal **4** 617-627 (1994)
- [11] Martin, D., Lorenzen, P. Chr., Schrader, K.: Ernährung/Nutrition **32** (2) 56–64 (2008).
- [12] Martin, D., Lorenzen, P. Chr., Schwertfeger, M., Buchheim, W., Schlimme, E.: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **53** (4) 283 – 293 (2001).
- [13] Schlimme, E., Lorenzen, P. Chr., Martin, D., Meisel, H., Thormählen, K.: Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **49** (2) 135 - 146 (1997).
- [14] Meisel, H., Lorenzen, P. Chr., Martin, D., Schlimme, E.: Nahrung/Food **41** (2) 75 - 80 (1997).
- [15] Andr e, S., Martin, D., Ostermeyer, U., Rehbein, H., Schw gele, F.: Fleischwirtschaft **6** 93-99 (2012).
- [16] Martin, D., Walte, H.-G., Lorenzen, P. Chr.: Small Ruminant Research **137** 162-168 (2016).
- [17] Raezke, K.-P., Schlimme, E.: Z. Naturforsch. **45 c** 655 – 662 (1990).
- [18] Richtlinie 2013/46/EU der Kommission vom 28. August 2013: Amtsblatt der Europ ischen Union L230/2016