

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

## Research Report

# Vorträge zur Hochschultagung 2019: Wer entscheidet über die Agrarsysteme von morgen?

Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, No. 126

### Provided in Cooperation with:

Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Universität Kiel

*Suggested Citation:* Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Ed.) (2019) : Vorträge zur Hochschultagung 2019: Wer entscheidet über die Agrarsysteme von morgen?, Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, No. 126, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/274044>

### Standard-Nutzungsbedingungen:

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

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

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

### Terms of use:

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

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

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

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

# Vorträge zur Hochschultagung 2019

Wer entscheidet über die Agrarsysteme von morgen?

Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel Heft 126 (2019)

24.6.2019

**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

## Inhalt

<b>Virtuelle Besuche: Ein überzeugendes Kommunikationsmittel?</b> .....	
Ulrich R. Orth, Julia Dietrich, Nathalie Spielmann .....	4
<b>Weniger Ammoniakemissionen durch Gülleensäuerung: Vermeidungskosten und mögliche Förderprogramme</b> .....	
Uwe Latacz-Lohmann, Malena F. Nohrden, I. Thiermann.....	10
<b>Glücklich oder nicht? Welche Faktoren bestimmen die Lebenszufriedenheit von Landwirt*innen? ...</b>	
Julia Anette Schreiner und Uwe Latacz-Lohmann.....	16
<b>Welche Parameter sind in Zukunft für den Qualitätsweizenanbau bei reduzierter N-Düngung entscheidend?</b> .....	
Anne Roßmann, Karl H. Mühling.....	23
<b>Düngungsoptimum digital: Entscheidungs-„Navi“ gemäß Düngeverordnung in Sicht</b> .....	
Jan-Hendrik Buhk, Hans-Hennig Sundermeier .....	29
<b>Quinoa: Eine alte Kulturpflanze für den Anbau in Schleswig-Holstein</b> .....	
Nazgol Emrani, Dilan Sarange, Christian Jung .....	37
<b>Pflanzenschutzmittel und ihre Transformationsprodukte in Oberflächengewässern im ländlichen Raum</b> .....	
Uta Ulrich, Matthias Pfannerstill, Nicola Fohrer .....	42
<b>Der Boden als endliches Gut in der Agrarwirtschaft</b> .....	
Sandra Spielvogel .....	49
<b>Knicks – Holzertrag vs. Biodiversität, ein Widerspruch?</b> .....	
Eberhard Hartung, Stephan Lingner, Eiko Thiessen .....	57
<b>Bienenweide &amp; Co: Zur Bedeutung von Agrarumweltprogrammen für die Biodiversität</b> .....	
Tim Diekötter.....	64
<b>Umweltschutzziele und Ökonomie als Treiber: Milchkühe zurück in die Ackerbauregionen?</b> .....	
F. Taube, R. Loges, S. Mues, C. Kluß, T. Reinsch, C. Malisch, H. Lorenz und A. Poyda .....	67
<b>Glücklich oder nicht? Wie steht es um die Lebenszufriedenheit beim Schwein?</b> .....	
I. Czycholl, K.L. Krugmann, F.J. Warnken, J. Krieter.....	74
<b>Tierproduktion im postantibiotischen Zeitalter – ein denkbare Szenario?</b> .....	
Christina S. Hölzel, Julia L. Tetens.....	80
<b>Phytaseinsatz in der Nutztierernährung – quo vadis?</b> .....	
R. Blank, A. Susenbeth, S. Wolfram.....	87
<b>Weniger Salz, Zucker und Fett – ein Beitrag zur Reduzierung von Zivilisationskrankheiten</b> .....	
Jan Fritsche .....	93
<b>Einfluss des <i>Energy Flux</i> auf die Appetitregulation</b> .....	
Franziska A Hägele, Franziska Büsing, Alessa Nas, Anja Bosy-Westphal.....	101

<b>Oleogel – das Fett neu erfinden</b> .....	
Philipp M. Meissner, Julia K. Keppler, Heiko Stöckmann, Karin Schwarz.....	110
<b>Mangelernährung im Alter</b> .....	
Corinna Geisler, Katharina Krause, Manfred J. Müller und Anja Bosy-Westphal .....	118

# Virtuelle Besuche: Ein überzeugendes Kommunikationsmittel?

Ulrich R. Orth<sup>1</sup>, Julia Dietrich<sup>1</sup>, Nathalie Spielmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Agrarökonomie,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

<sup>2</sup>NEOMA Business School, Reims

## Einleitung

Eine in Marketingforschung und -praxis weit verbreitete Perspektive sieht Konsumenten als skeptische und überaus reservierte Empfänger von Werbung (Cotte, Coulter, und Moore, 2005). Diese Perspektive legt nahe, daß die Wahrnehmung einer kommerziellen Überzeugungsabsicht in Werbemitteln deren Wirksamkeit negativ beeinträchtigt. Fortschritte in der Informationstechnologie könnten in der Lage sein, entsprechende Vorbehalte auszuräumen (Grewal, Roggeveen, und Nordfält, 2017; Stipp, 2018). Zur Überzeugungskraft computer-gestützter Erfahrungen ist jedoch noch wenig bekannt. Im Vergleich zu statischen Bildern oder Videos sollten vor allem technisch aufwändigere (aber noch nicht High-Tech) Verfahren wie virtuelle Touren (360° Panorama-Inhalte, durch die Nutzer per Maus, Wischbewegung oder Tasteneingabe navigieren) effektiver sein. Der hohe Grad an Nutzerkontrolle könnte die Nutzung virtueller Touren ähnlich eigenen Erfahrungen aus erster Hand machen (Hopkins, Raymond, and Mitra, 2004; Lombard and Ditton, 1997) und damit Inhalte authentischer wirken lassen, sowie die die wahrgenommene (kommerzielle) Überzeugungsabsicht reduzieren. Ungeachtet der zunehmenden Verbreitung virtueller Touren (Deloitte, 2016; Johnson, 2015), ist jedoch wenig zu deren Einfluss auf das Konsumentenverhalten bekannt. So bleiben wichtige Fragen unbeantwortet, die im vorliegenden Beitrag untersucht werden. Sie lauten: (1) Können virtuelle Besuche überzeugen? (2) Wie lässt sich die Wirkung erhöhen? (3) Wie überzeugend sind virtuelle Touren im Vergleich zu anderen Kommunikationsmitteln? Und (4) Unter welchen Bedingungen wirken virtuelle Touren (nicht)? Insgesamt acht empirische Studien generieren neues Wissen zu diesen Fragen, jeweils aufbauend auf etablierten Theorien der Wahrnehmungs- und Umweltpsychologie.

## Können Virtuelle Touren überzeugen?

### *Konzeptioneller Hintergrund*

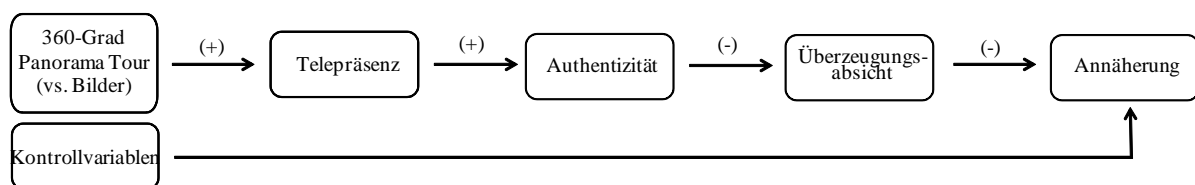
Aufbauend auf der Construal Level Theorie (Trope and Liberman, 2010) testen drei Studien die Überzeugungskraft virtueller Touren (Spielmann and Orth, 2019). Ausgangspunkt ist die These, daß virtuelle Touren beim Betrachter Telepräsenz erzeugen, also das gedankliche Eintauchen in eine virtuelle Welt ohne Verlassen der tatsächlichen physischen Umgebung (Witmer and Singer, 1998). Als ein immersiver psychologischer Zustand beinhaltet Telepräsenz Empfindungen, Kognitionen und Emotionen wie sie Menschen auch in nicht computer-gestützten Umgebungen erlebt würden (Kim and Biocca, 1997; Coyle and Thorson, 2001). Ein Schlüsselmerkmal von Telepräsenz ist die Fähigkeit, psychologische Distanz zu reduzieren (Marlow and Dabbish 2014). Die damit zunehmende Konkretheit (statt Abstraktheit) von Eindrücken fördert Annäherungsverhalten (Vonkeman, Verhagen, and van Dolen 2017). Diese positiven Effekte ergeben sich aus dem als sehr realistisch empfundenen selbstbestimmten Erleben (Darke et al. 2016), das die wahrgenommene Authentizität eines Angebotes erhöht und die wahrgenommene Überzeugungsabsicht reduziert.

## Empirische Studien

Drei empirische Studien testen zunächst die Überzeugungskraft virtueller Touren in verschiedenen Kontexten (Spielmann und Orth, 2019). Alle Studien vergleichen statische Bilder mit hochauflösenden 360-Grad Panorama Touren (Google Interactive Tours und Google Street View), da diese sehr realitätsnah den Besuchererlebnissen vor Ort entsprechen (Johnson, 2015) und touristische Anwendungen einen aktuellen Schwerpunkt virtueller Besuche darstellen (Hwangbo, 2016).

Studie 1 (N=380 Mitglieder eines Konsumentenpanels) untersucht den grundlegenden Wirkungsmechanismus virtueller Touren (Abbildung 1) im Kontext des *Museum of Childhood* in London (<http://www.revolvingpicture.com/virtual-tours/moc/>). Die Art des benutzten Endgerätes (Desktop versus Smartphone/ Tablet) wurde als Kontrollvariable berücksichtigt, da alleine schon die physische Nähe zum Anzeigegerät die Überzeugungswirkung beeinflussen kann (Coulter, 2016).

Abbildung 1: Wirkungsmechanismus virtueller Touren (Studien 1 - 3)



Die Resultate multipler serieller Mediationsanalysen (PROCESS, Hayes, 2016) zeigen, daß virtuelle Touren ein Gefühl von Telepräsenz erzeugen, das keinen direkten Einfluss auf Annäherungsverhalten hat, sondern dieses indirekt durch Authentizität und wahrgenommene Überzeugungsabsicht erhöht. Dieser Effekt ist unabhängig vom verwendeten Endgerät.

Studie 2 (N=416 Konsumenten) versuchte die Ergebnisse im Kontext der *Son Doong Höhle* in Vietnam zu replizieren (<https://www.nationalgeographic.com/news-features/son-doong-cave/2/>). Kontrollvariablen sind Klaustrophobie und der visuelle Wahrnehmungsstil einer Person (Childers, Houston and Heckler, 1985). Wie zuvor hatte die durch den virtuellen Besuch induzierte Telepräsenz keinen direkten Einfluss auf das Annäherungsverhalten (Eintrag in die Warteliste zum Höhlenbesuch), sondern stimulierte dieses indirekt durch eine Erhöhung der wahrgenommenen Authentizität und eine Reduzierung der vermuteten Überzeugungsabsicht. Diese Effekte waren robust in der Gegenwart signifikanter Einflüsse klaustrophobischer Tendenzen und des visuellen Wahrnehmungsstils.

Studie 3 (N=136 Konsumenten) replizierte die Ergebnisse im Kontext des *Hôtel de Glace* in Quebec mit der individuellen Stimmung als Kontrollvariable. Wie hatte Telepräsenz einen indirekten, jedoch keinen direkten Effekt auf das Annäherungsverhalten (Besuchsabsicht). Zusammen belegen die drei Studien das Potential virtueller Besuche durch die Erzeugung von Telepräsenz sowie daraus resultierende höhere Authentizität und reduzierte (manipulative) Überzeugungsabsicht.

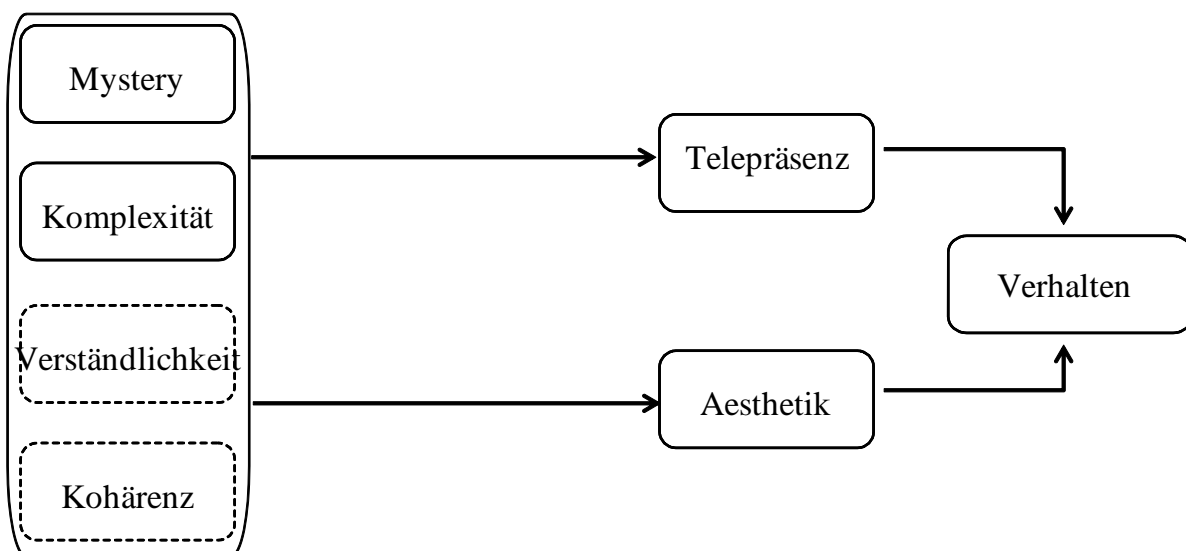
## Wie lässt sich die Wirkung erhöhen?

### Konzeptioneller Hintergrund

Telepräsenz gilt als Schlüssel zum Verständnis des Erlebens räumlich oder zeitlich entfernter Umgebungen sowohl offline (Weibel, Wissmath, und Mast 2011), als auch online (Hopkins, Raymond, und Mitra 2004; Nadkarni und Gupta 2004; Nelson, Yaros, und Keum 2006). Durch seine Fähigkeit, wahrgenommene psychologische (insbesondere räumliche) Distanz zu reduzieren (Marlow and Dabbish 2014), unterstützt Telepräsenz verschiedene Marketingziele wie eine positivere Produktbeurteilung (Klein 2003), erhöhtes Vertrauen (Darke et al. 2016), und Besuchsabsicht (Fiore, Kim, and Lee 2005). Damit stellt die Nutzung von Telepräsenz potente und vielfältige Möglichkeiten für ein erfolgreiches Marketing dar (Mollen and Wilson 2010). Defizite im Wissen wie Telepräsenz erzeugt werden kann, machen eine praktische Umsetzung jedoch schwierig.

Frühere Forschungsarbeiten zeigen, daß ein Gefühl von Telepräsenz durch technische Parameter wie Interaktivität (Spielmann and Mantonakis 2018) und Lebendigkeit (Marlow and Dabbish 2014; Wirth et al. 2007) erzeugt werden kann. Was bisher fehlt sind jedoch theoriebasierte Erkenntnisse, wie man das visuelle Design von Umgebungen nutzen kann, um Telepräsenz zu erzeugen bzw. zu verstärken. Um diese Lücke zu schließen integriert ein angewandtes Forschungsprojekt (Orth et al., 2018) Const- rual Level Theorie (Trope and Liberman 2010) mit Kaplan und Kaplans (1989) Informationsvariablen. Ziel ist es, besser zu verstehen, wie man Gestaltungsmöglichkeiten zum visuellen Erscheinungsbild einer Umgebung nutzen kann, um Telepräsenz zu erzeugen und dadurch Abverkäufe und persönliche Besuche zu stimulieren. Das entsprechende Erklärungsmodell ist in Abbildung 2 dargestellt. Ergänzt wird das Modell durch einen parallelen Wirkungspfad über die ästhetische Attraktivität einer Umgebung, da frühere Untersuchungen diesen Pfad regelmäßig bestätigten (Kumar, Puntani, and Sahadev 2017; Deng and Poole 2010; Kumar, Purani, and Sahadev 2017; Mummalaneni 2005; Tractinsky and Lowengart 2007 for a review). Um die Robustheit des Modells zu testen berücksichtigt das Projekt außerdem eine Reihe von persönlichen und situativen Kontrollvariablen wie die Vertrautheit der Umgebung, das Wissen einer Person, deren Involvement, sowie den visuellen Verarbeitungsstil.

Abbildung 2: Designdeterminanten von Telepräsenz (Studien 4 - 6)





## *Empirische Studien*

Drei Studien nutzen unterschiedliche Methoden und Teilnehmer, um die vermuteten Zusammenhänge zu testen. Studie 4 (N=12 Experten) verifiziert die Präsenz der vier Informationsvariablen in virtuellen Umgebungen und liefert erste Belege für deren Fähigkeit, Telepräsenz zu erzeugen. Den Kontext stellen internationale Weingüter in Australien, Deutschland, Frankreich, Italien, Neuseeland, Südafrika und den USA. Die Ergebnisse umfangreicher Inhaltsanalysen belegen, dass vor allem Mystery und Komplexität in Umgebungen Telepräsenz erhöhen.

Studie 5 (N=189 Konsumenten) nutzt ein Quasi-Experiment mit zwölf ausgesuchten Weingütern, um die Wirkung der Informationsvariablen (durch Telepräsenz bzw. Attraktivität) auf Produktkauf und Besuchsabsicht zu testen. Kontrollvariablen sind die persönliche Vertrautheit mit der Umgebung und das subjektive Weinwissen. Die Ergebnisse von Strukturgleichungsmodellen und Pfadanalysen zeigen, dass die sensorisch intensiveren Variablen Mystery und Komplexität zur Erzeugung von Telepräsenz beitragen, was wiederum die Kauf- und Besuchsabsicht erhöht. Diese Effekte sind robust wenn der alternative Wirkungspfad durch Ästhetik berücksichtigt wird und unabhängig von Vertrautheit und Weinwissen.

Studie 6 nutzt eine Konsumentenstichprobe (N=305) und die virtuellen Touren der Weingüter aus Studie 4, um die Replizierbarkeit der Ergebnisse festzustellen. Zusätzlich berücksichtigte Kontrollvariablen sind der individuelle visuelle Verarbeitungsstil, die Vertrautheit mit der Umgebung, sowie das Involvement. Die Ergebnisse entsprechen den in vorherigen Studien gewonnenen Erkenntnissen und liefern Hinweise, wie man virtuelle Umgebungen gestalten sollte, um Gefühle von Telepräsenz zu erzeugen bzw. zu verstärken. So besteht Mystery zum Beispiel aus gedämpftem Licht, uneindeutigem Layout, engen Räumen, überraschenden Perspektiven, schwierig zu findenden Wegen, Abzweigungen und Passagen. Visuelle Komplexität entsteht durch Variation von Farben, Objekten und Oberflächen, stark gegliedertes räumliches Layout, zahlreiche und unterschiedliche Einrichtungsgegenstände, Waren, und Deko.

### **Wirkung im Vergleich zu anderen Kommunikationsmitteln?**

Zwei weitere Studien quantifizieren die Wirkung virtueller Touren im Vergleich zu statischen Bildern und Videosequenzen. Studie 7 (N=104) tut dies noch einmal im Kontext des Eishotels und stellt fest, dass virtuelle Touren in ihrer Wirkung statischen Bildern deutlich überlegen sind. Dies äußert sich nicht nur durch eine höhere Telepräsenz (und daraus resultierend höhere Kauf- und Besuchsabsichten), sondern insbesondere auch durch deutlich höhere Präferenzen der Teilnehmer für warme (vs. kalte) Speisen und Getränke.

Studie 8 (N=220) repliziert den Ansatz im Kontext der Dubai Desert Experience und zeigt, dass virtuelle Touren auch Videosequenzen überlegen sind. Insbesondere bewirken sie eine höhere Präferenz der Teilnehmer für kalte (vs. warme) Speisen und Getränke und belegen eine Korrelation der Telepräsenz mit der geschätzten, aber nicht der tatsächlichen Raumtemperatur.

## **Unter welchen Bedingungen ?**

Über die acht Studien hinweg zeigt sich eine bemerkenswerte Robustheit der Wirkungsweise virtueller Besuche. So überzeugt die hierbei hergestellte Telepräsenz unabhängig vom verwendeten Endgerät (Museum), der Kategorie (Museum, Hotel, Höhle, Wüste, Weingüter), der individuellen Stimmung (Eis-Hotel), Vertrautheit mit der Umgebung (Museum), dem Kategorie-Wissen (Weingüter), Involvement (Weingüter), visuellen Verarbeitungsstil (Höhle), Klaustrophobie (Museum) oder Islamophobie (Wüstentour). Auch die Berücksichtigung eines alternativen Wirkungspfades durch ästhetische Effekte ändert nichts an der Erklärungskraft des Ansatzes.

## **Diskussion**

Insgesamt acht eigene Studien untersuchen Wie, Warum und unter welchen Bedingungen virtuelle Besuche ein überzeugendes Kommunikationsmittel sind. Die Ergebnisse zeigen, dass virtuelle Touren (selbstgesteuerte 360° Panorama-Inhalte Konsumenten sowohl zum Kauf dort angebotener Produkte, als auch zum Besuch der stationären Umgebung anregen. Diese Wirkung beruht auf einer Erhöhung der wahrgenommenen Authentizität des Angebots und einer Reduzierung der wahrgenommenen (manipulativen) Überzeugungsabsicht. Weiterhin sind die gefundenen Effekte ausgesprochen robust und treten auch bei Berücksichtigung mehrerer individueller und situativer Bedingungsvariablen auf. Für zukünftige Untersuchungen interessant könnten eine Übertragung des Erklärungsmodells auf High-tech-Anwendungen sein (z.B. das Erleben von Umgebungen in Full Body Suits), eine Erweiterung des Betrachtungshorizontes (wenn auf den virtuellen Besuch ein persönlicher Besuch der stationären Umgebung folgt), sowie die Messung durch Telepräsenz hervorgerufener physiologischer Reaktionen.

## Referenzen:

Darke, P. R., M. K. Brady, R. L. Benedictus, and A. E. Wilson (2016). "Feeling Close from Afar: The Role of Psychological Distance in Offsetting Distrust in Unfamiliar Online Retailers." *Journal of Retailing*, 92, 3 (2016): 287-99.

Orth, U. R., Lockshin, L., Spielmann, N., & Holm, M. (2018). Design Antecedents of Telepresence in Virtual Service Environments. *Journal of Service Research*, 1094670518812705.

Spielmann, N. und Orth, U. R. (2019). Seeing is Believing: Increasing Operational Transparency through Computer-Mediated Advertising Experiences. *Journal of Advertising Research*, forthcoming

Trope, Yaacov and Nira Liberman (2010), "Construal-Level Theory of Psychological Distance," *Psychological Review*, 117 (2), 440-63.

# Weniger Ammoniakemissionen durch Gülleansäuerung: Vermeidungskosten und mögliche Förderprogramme

Uwe Latacz-Lohmann, Malena F. Nohrden, I. Thiermann<sup>1</sup>  
Institut für Agrarökonomie  
Landwirtschaftliche Betriebslehre und Produktionsökonomie,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

## Einleitung

Das Thema Ammoniakemissionen wächst sich zu einer neuen „Großbaustelle“ der deutschen Landwirtschaft aus. Deutschland hat sich vor vielen Jahren zu deutlichen Reduktionen verpflichtet, und jetzt läuft uns die Zeit davon. Bis 2030 sollen die deutschen Ammoniakemissionen um 29% gegenüber den Werten von 2005 gesenkt werden. Realität ist: Die Emissionen haben sich gegenüber dem Bezugsjahr 2005 sogar erhöht. Tendenz steigend. Und: Deutschland droht wegen der Überschreitung der Höchstwerte der aktuell gültigen NEC-Richtlinie ein Vertragsverletzungsverfahren seitens der EU-Kommission. Aber nicht nur die Bundesregierung ist in der Bredouille. Auch die Landwirte sitzen in der Klemme: So manches Stallbauvorhaben ist im emissionsrechtlichen Genehmigungsverfahren wegen der zusätzlichen Ammoniakemissionen durchgefallen. Und kaum jemand hat noch Lust, überhaupt an Investitionen in neue Ställe zu denken. Ohne den Teufel an die Wand malen zu wollen: Es besteht dringender Handlungsbedarf. Die Möglichkeiten zu handeln sind zahlreich. Aber alles, womit sich Ammoniakemissionen reduzieren lassen, kostet Geld, zum Teil richtig viel Geld. Eine vergleichsweise kostengünstige Möglichkeit ist die Ansäuerung von flüssigen Wirtschaftsdüngern. In Deutschland stehen einer breiten Anwendung noch rechtliche Vorgaben im Weg. Dass die Gülleansäuerung viel bringen und wenig kosten würde, zeigt dieser Beitrag.

## Warum ist eine emissionsarme Gülleausbringung wichtig?

Das Umweltbundesamt (2017) rechnet vor: 95 % der Ammoniakemissionen in Deutschland stammen aus der Landwirtschaft. Davon 21% aus dem Pflanzenbau (z.B. durch mineralische Düngung) und 74% aus der Tierhaltung. In der Tierhaltung entstehen die größten Verluste bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Ungefähr die Hälfte der deutschen Ammoniakemissionen stammt aus diesen beiden Quellen. Die Problematik der Ammoniakemissionen besteht darin, dass diese der Umwelt schaden, indem sie versauernd und eutrophierend wirken und stickstoffsensitive Vegetation (z. B. Wald, Heide, Hochmoor) schädigen können. Deshalb ist es heutzutage schwierig, Stallbauten in der Nähe solcher Gebiete überhaupt noch genehmigt zu bekommen. Zusätzlich soll Ammoniak nach neuesten Erkenntnissen an der Feinstaubpartikelbildung beteiligt sein – mit möglichen Folgen für die menschliche Gesundheit.

## Was bringt die Gülleansäuerung?

Gülleansäuerung kann an drei unterschiedlichen Stellen ansetzen: Im Stall, im Güllelager oder bei der Feldausbringung. In diesem Beitrag beschränken wir uns auf die Ansäuerung bei der Feldausbringung von Gülle und Gärresten. Diese Möglichkeit ist am einfachsten umsetzbar und mit den geringsten Investitionen verbunden. Dänemark ist Vorreiter der Ansäuerungstechnologie. Seit mehreren Jahren findet diese Technik mit vielversprechenden Ergebnissen dort Anwendung. Im Gegensatz zu Dänemark

---

<sup>1</sup> Dieser Beitrag beruht in wesentlichen Teilen auf der Bachelorarbeit von Malena F. Nohrden (2018) und der Masterarbeit von Insa Thiermann (2018).

befindet sich die Technologie in Deutschland erst in der Forschungs- und Erprobungsphase. Aktuell führen das schleswig-holsteinische Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) und die Universität Kiel Parzellenversuche durch und analysieren die Ergebnisse. Ein am Forschungsprojekt beteiligtes Lohnunternehmen setzt die vorhandene Technik in Großflächenversuchen ein, um die Technologie weiter zu optimieren. Die Feldversuche von 2017 zeigen, dass durch eine Absenkung des pH-Wertes deutlich weniger Ammoniak emittiert wird. Die Ansäuerung von Gärresten hat eine Reduktion der Ammoniakemissionen auf Dauergrünland von 66 % und im Weizenbestand von 44 % bewirkt, im Vergleich zur Ausbringung mittels Schleppschauchverfahren ohne Ansäuerung.

### **Was passiert durch das Ansäuern der Gülle?**

Die Ansäuerung und somit auch die Absenkung des pH-Wertes erfolgen mit Hilfe von Schwefelsäure. Schwefelsäure ist ein Abfallprodukt der Industrie und ist kostengünstig erhältlich. Dänische Versuche zeigen, dass durch das Ansäuern der Gülle weniger Nährstoffe wie Stickstoff und Schwefel gedüngt werden müssen. Das erhöht die Effizienz, und Schwefel gelangt bereits durch die Schwefelsäure in den Boden. Dadurch sinken die Düngungskosten. In Deutschland wird die Gülle für die laufenden Versuche auf pH 5,5 herabgesetzt, weil hier der größte Effekt zu erwarten ist. Praxisüblich (und auch in Dänemark angewandt) ist ein pH-Wert von 6,0. Durch die Absenkung des pH-Werts wird der Übergang von pflanzenverfügbarem Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) zum flüchtigen Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) stark vermindert. Dadurch verringern sich die atmosphärischen Verluste, und es bleibt mehr Stickstoff (in Form von  $\text{NH}_4^+$ ) im Boden.

### **Wie erfolgt die technische Umsetzung?**

Das am Forschungsprojekt beteiligte Lohnunternehmen benutzt bei der Feldausbringung angesäuerter Wirtschaftsdünger einen Schleppschauchverteiler und das SyreN-Ansäuerungssystem des dänischen Herstellers Biocover. Dieses System besteht aus einem Frontkäfigsystem mit einem Säuretank und der dazugehörigen Injektionstechnologie. Das Frontkäfigsystem ist am Fronthubwerk des Traktors montiert. Der Käfig besteht aus verstärktem Stahl und dient dem Schutz des Säuretanks. Der Säuretank ist ein leicht austauschbarer IBC-Container (IBC = Intermediate Bulk Container), der mit Standard-schnellverbindungen ausgestattet ist, um einen Säurekontakt beim Austausch auszuschließen. Alternativ können sogenannte Variboxen genutzt werden. Zusätzlich gibt es zwei weitere Tanks. Der eine ist für Zusatzstoffe vorgesehen, die bei Bedarf während der Gülleapplikation ausgebracht werden können. Der andere Tank enthält Wasser. Der Wassertank ist für den Notfall vorgesehen oder um das System zu spülen. Am Frontkäfig befindet sich eine hydraulisch angetriebene Säurepumpe aus Edelstahl. Mit Hilfe dieser Pumpe wird Säure zum Injektor gepumpt. Dieser Injektor ist an einem statischen Mischer an der Rückseite des Güllewagens angebracht. Während des Mischvorganges werden Säure und Gülle effektiv miteinander vermischt. Anschließend wird die angesäuerte Gülle durch Verteilungsschläuche auf das Feld ausgebracht. Beim Verlassen der Verteilungsschläuche passiert die angesäuerte Gülle ein pH-Meter. Durch das pH-Meter wird das System gesteuert und kontrolliert.

### **Bietet die Gülleansäuerung pflanzenbaulichen Vorteile?**

Die Ansäuerung von Gülle während der Feldausbringung bietet Vorteile bei der Gülleapplikation in Beständen oder auf Dauergrünland, da weder Narbenbeschädigungen im Grünland noch Verschmutzungen oder Beschädigungen der Pflanzenbestände entstehen und ein hohes Potenzial besteht, Ammoniakemissionen zu reduzieren. Auch bei ungünstiger Witterung durch Wärme oder Wind werden durch die Ansäuerung Vorteile hinsichtlich der Reduktion von Ammoniakemissionen erzielt. Bei der Ausbringung auf unbestelltem Ackerland dürfte die sofortige Einarbeitung unangesäuerter Gülle bei kühler, windstiller Witterung immer noch die effizienteste Methode der Emissionsminderung sein. Deswegen bietet sich die Ansäuerungstechnologie am ehesten für die Gülleapplikation in stehenden

Beständen oder auf Grünland an. Dabei werden Reduktionswerte erzielt, die der „normalen“ Gülleausbringung mit sofortiger Einarbeitung nahekommen. Darüber hinaus wurden in den schleswig-holsteinischen Feldversuchen durch Ansäuerung gleichbleibende oder zum Teil sogar etwas höhere Erträge erzielt.

### Was kostet die Gülleansäuerung?

Wir haben die „normale“ Gülleausbringung mittels Schleppschlauch mit der Ausbringung angesäuerter Rinder- und Schweinegülle verglichen. Das gleiche haben wir noch einmal für die Ausbringung angesäuerter Gärreste gemacht. Gärreste haben einen höheren pH-Wert als Gülle und benötigen daher mehr Schwefelsäure. Dabei haben wir die vom Lohnunternehmer angewandte Technik zu Grunde gelegt und auch eine entsprechend hohen Auslastung unterstellt. In der Praxis würden Lohnunternehmer die Mehrkosten gegenüber der „normalen“ Gülleausbringung mit Schleppschlauch den Landwirten in Rechnung stellen. In die Berechnungen fließen sowohl die Fixkosten für die Hardware ein (d.h. ein Zinsansatz für das in Schlepper, Güllefass und Fronteinheit gebundenen Kapital) als auch die variablen Kosten der Gülleausbringung. Zu Letzteren zählen die jährliche Abschreibung der Hardware (die in Lohnunternehmen in aller Regel oberhalb der Abschreibungsschwelle genutzt wird), laufende Reparaturkosten, Lohnkosten, Dieselposten und – natürlich – die Kosten für die Schwefelsäure. Die vollständigen Kalkulationen können im Online-Anhang auf der Homepage des Bauernblatts nachvollzogen werden. Zusammengefasst stellen sich die Ergebnisse folgendermaßen dar:

Tabelle 1: Kosten der Ausbringung angesäuerter Gülle bzw. Gärreste im Vergleich zur „normalen“ Gülleausbringung (alle Angaben in €/m<sup>3</sup> Gülle bzw. Gärrest)

	„Normale“ Gülleausbringung mit Schleppschlauch	Ausbringung angesäuerter Gülle	Ausbringung angesäuerter Gärreste
Schlepper inkl. Lohn und Diesel	1,14	1,14	1,14
Güllefass	0,96	0,96	0,96
Fronteinheit inkl. Säurekosten		1,07	1,99
Gesamtkosten	2,10	3,17	4,09

Als Faustzahl kann man sich also merken: Angesäuerte Gülle auszubringen kostet rund einen Euro pro Kubikmeter mehr als die „normale“ Ausbringung. Und für angesäuerte Gärreste muss man noch einmal einen Euro drauflegen. Eine Milchkuh produziert rund 20 m<sup>3</sup> Gülle pro Jahr. Für die Gülleausbringung wären dann gut 20 €/Kuh mehr hinzublättern. Vertretbar, meinen wir. Fraglich ist allerdings, ob die Lohnunternehmer wirklich nur die Mehrkosten weiterreichen oder noch einen Gewinnaufschlag draufpacken.

### **Wie viel wird durch die bessere Stickstoffausnutzung eingespart?**

Die 20 €/Kuh sind aber noch nicht das Ende der Geschichte. Dadurch dass weniger Ammoniak emittiert, bleibt mehr pflanzenverfügbarer Stickstoff (in Form von Ammonium) im Boden. Dadurch kann mineralischer N-Dünger eingespart werden. Die Düngersparnis muss als Vorteilsausgleich von den obigen Kosten abgezogen werden. Basierend auf einem Stickstoffpreis von 0,57 €/kg N haben wir einen Kostenvorteil durch Düngereinsparung von 0,42 €/m<sup>3</sup> Gülle errechnet. Die Berechnungen hierzu sind ebenfalls im Online-Anhang nachzulesen. Dadurch reduzieren sich die effektiven Mehrkosten auf 0,65 €/m<sup>3</sup> Gülle, nämlich 1,07 €/m<sup>3</sup> gemäß Tabelle 1 minus 0,42 €/m<sup>3</sup> für die Düngereinsparung. Bei der Ansäuerung von Gärresten reduzieren sich die Kosten entsprechend auf 1,57 €/m<sup>3</sup>, nämlich 1,99 €/m<sup>3</sup> gemäß Tabelle 1 minus 0,42 €/m<sup>3</sup> für die Düngereinsparung. Bewusst nicht berücksichtigt ist in dieser Kalkulation der leicht erhöhte Mehraufwand für Kalkung, der erforderlich ist, um die versauernde Wirkung der Schwefelsäure auszugleichen. Wir gehen davon aus, dieser Mehraufwand der Einsparung an Schwefeldüngung entspricht.

### **Wie teuer ist die Gülleansäuerung im Vergleich zu anderen Vermeidungsmaßnahmen?**

Zum Vergleich der Kosten unterschiedlicher Vermeidungsmaßnahmen muss man die jeweiligen Kosten auf ein Kilogramm vermiedenes Ammoniak beziehen. In unseren Berechnungen sind wir davon ausgegangen, dass durch die Ansäuerung 0,735 kg Ammoniak je Kubikmeter Gülle bzw. Gärrest vermieden werden (siehe Online-Anhang). Teilt man nun die Mehrkosten der Ansäuerung (1,07 €/m<sup>3</sup> Gülle bzw. 1,99 €/m<sup>3</sup> Gärrest, dies sind die Werte ohne Gegenrechnung der Düngereinsparung) durch die 0,735 kg NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, erhält man die Vermeidungskosten je kg vermiedenes Ammoniak. Diese liegen bei 1,46 €/kg NH<sub>3</sub> bei der Ansäuerung von Gülle und bei 2,71 €/kg NH<sub>3</sub> bei der Ansäuerung von Gärresten. Rechnet man auch noch den Vorteilsausgleich durch den eingesparten N-Dünger ein, ergeben sich noch geringere Vermeidungskosten (0,88 €/kg NH<sub>3</sub> für Gülle und 2,14 €/kg NH<sub>3</sub> für Gärreste). Dies sind im Vergleich zu anderen Vermeidungsmaßnahmen ausgesprochen niedrige Werte. So kostet nach dänischen Untersuchungen die Vermeidung von einem Kilogramm Ammoniak durch chemische Abluftreinigung in Schweinemastställen zwischen 3 und 5 € (Jacobsen, 2012). Die Vermeidung von Ammoniakemissionen durch emissionsarme Laufflächen in Rinderställen kostet nach Untersuchungen von Schulte (2018) zwischen 14 und 18 €/kg NH<sub>3</sub>.

### **Welche rechtlichen Hürden sind noch zu überwinden?**

Bisher fehlt in Deutschland eine VERA-Verifizierung für den Nachweis der Minderungseffizienz der Ansäuerung. VERA steht für Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production. In Dänemark gibt es diese Verifizierung bereits für die Ansäuerung von Schweinegülle. Die Minderung für Ammoniak wird mit 64% angegeben. Im Referentenentwurf zur Novelle der TA Luft ist die Gülleansäuerung als Minderungstechnologie in der Schweinehaltung mit einem eigenen Emissionsfaktor bereits vorgesehen, so dass davon auszugehen ist, dass diese auch bald in Deutschland als effektive Minderungsmaßnahme anerkannt werden wird. Dies erfordert jedoch die Ausräumung einer weiteren rechtlichen Hürde: Wegen der Zugabe von Schwefelsäure fällt die Lagerung angesäuerter Gülle (im Stall oder im Güllebehälter) nicht unter die wasserrechtliche Privilegierung für sogenannte JGS-Anlagen (Anlagen zum Behandeln und Verwenden von Jauche, Gülle und Sickersäften). Vielmehr gelten die deutlich strengeren Anforderungen für HBV-Anlagen (Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden wassergefährdender Stoffe). Dies kann zu unverhältnismäßig hohen Kosten führen, die die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens in Frage stellen.

Für die Gülleansäuerung bei der Feldausbringung gab es bis vor kurzem rechtliche Bedenken hinsichtlich der Verkehrs- und Arbeitssicherheit. Kaum auszumalen, was passiert, wenn ein Traktor mit einem IBC-Container voll Schwefelsäure in einen Verkehrsunfall gerät. Diese Bedenken scheinen aber ausge-

räumt zu sein: Führer von Fahrzeugen, die Schwefelsäure transportieren, müssen im Besitz eines Gefahrgutführerscheins sein. Insofern dürfte die Technologie wohl in erster Linie auf Lohnunternehmen beschränkt bleiben.

### **Könnte der Technologie durch staatliche Förderung zum Durchbruch verholfen werden?**

Dieser Frage sind wir in einer Befragung von 144 Landwirten mit Viehhaltung nachgegangen. Den Befragten wurden jeweils unterschiedlich gestaltete hypothetische Förderprogramme zur Auswahl gestellt. Sie konnten sich entweder für eines der Förderprogramme oder gegen die Programmteilnahme entscheiden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Teilnahmebereitschaft der Landwirte sehr hoch ist und (natürlich) mit zunehmender Förderhöhe steigt. Dabei zeigte sich aber auch, dass viele der Befragten bereit wären, die Technologie auch einzusetzen, wenn die Zusatzkosten nicht zu 100% gedeckt werden. Kritisch sahen die befragten Landwirte jedoch, dass der N-Anrechnungsfaktor für angesäuerte Gülle bei der Düngungsplanung höher angesetzt werden müsste, da ja mehr Ammonium-Stickstoff in der Gülle verbleibt. Dem könnte die Politik entgegenwirken, indem Nachlässe auf die Vorgaben der Düngeverordnung gewährt werden, wenn angesäuerte Gülle ausgebracht wird. So wäre es vorstellbar, dass es eine Ausnahme von der Pflicht zur Einarbeitung der Gülle innerhalb von 4 Stunden gibt. Dies würde die Teilnahmebereitschaft noch weiter steigern.

In vielen Bundesländern gibt es bereits freiwillige Programme zur emissionsarmen Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern. Diese beschränken sich jedoch zurzeit noch auf die Förderung etablierter Technologien wie Schleppschlauchausbringung, Gülleinjektion oder Güllegrubber. Nach unserer Auffassung sollte die Gülleansäuerung bei der Feldausbringung (nach erfolgter VERA-Verifizierung) als ein weiterer Fördergegenstand aufgenommen werden. Eine Förderung der Gülleansäuerung im Stall oder im Lager würde sich wohl eher im Rahmen der Agrarinvestitionsförderung anbieten, da diese Verfahren mit hohen Investitionskosten verbunden sind.

### **Fazit**

Unsere Berechnungen zeigen, dass die Ansäuerung von Gülle bei der Feldausbringung eine vergleichsweise kostengünstige Möglichkeit zur Reduktion von Ammoniakemissionen ist. Für die meisten viehhaltenden Betriebe dürften die Mehrkosten verkraftbar sein. Dies gilt insbesondere, wenn man den Mehrkosten der Ausbringung die eingesparten Düngerkosten entgegenrechnet – ganz abgesehen von möglichen Mehrerträgen, die sich in den schleswig-holsteinischen Feldversuchen angedeutet haben, wenn die Bestände mit angesäuerter Gülle gedüngt wurden. Schon deshalb eignet sich die Gülleansäuerung am besten bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in stehenden Beständen oder auf Grünland. Bei der Ausbringung auf unbestelltem Ackerland dürfte die sofortige Einarbeitung immer noch die effizienteste Methode der Emissionsminderung sein. Unsere Umfrage unter Praktikern lässt darauf schließen, dass viele Landwirte bereit sind, die neue Technologie anzuwenden, wenn sie in Deutschland endlich voll anerkannt ist.



**Referenzen:**

Jacobsen, B.H. (2012): Ammonia emissions in Europe: costs, regulation and targets with focus on Denmark. *Journal of Agriculture Science and Technology* 2 (3), S. 285-293.

Nohrden, M.F. (2018): Kosten der Gülleensäuerung bei der Feldausbringung. Bachelorarbeit am Institut für Agrarökonomie der Universität Kiel. April 2018.

Thiermann, I. (2018): Akzeptanzanalyse unterschiedlicher Verfahren der Gülleensäuerung zur Emissionsvermeidung: Ergebnisse eines Discrete Choice Experimentes. Masterarbeit am Institut für Agrarökonomie der Universität Kiel. April 2018.

Umweltbundesamt (Hg.) (2017): Umweltschutz in der Landwirtschaft. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschutz-in-der-landwirtschaft>

## Glücklich oder nicht?

# Welche Faktoren bestimmen die Lebenszufriedenheit von Landwirt\*innen?

Julia Anette Schreiner und Uwe Latacz-Lohmann  
Institut für Agrarökonomie

### Einleitung

Welche Faktoren die Lebenszufriedenheit bzw. das subjektive Wahrnehmen von Glücksmomenten bestimmen, ist Gegenstand dieses Beitrags. In der agrarökonomischen Forschung stellt der Homo oeconomicus immer noch die Grundlage vieler Modelle dar, obwohl zahlreiche Untersuchungen nicht zu vernachlässigende konsistente Abweichungen im Verhalten der untersuchten Akteure nachweisen (FEHR und GÄCHTER, 1998). Das Streben nach Gewinnmaximierung, konsistente rationale Handlungen, die einer festen Präferenzstruktur unterliegen und die ausschließliche Relevanz ökonomischer Ziele sollten nach Meinung einiger Autoren aufgeweicht bzw. ergänzt werden. Wirtschaftssubjekte verfolgen in der Regel Mehrfachziele, die von internalisierten Wertvorstellungen sowie von nicht-monetären Motivationen (z.B. Traditionen oder soziale Anerkennung) beeinflusst werden (vgl. z.B. BENZ, 2006). Die ökonomische Glücksforschung hat sich zwar im letzten Drittel des zwanzigsten Jahrhunderts stark entwickelt, hat jedoch nur vereinzelt Einzug in die Agrarökonomie gehalten - beispielsweise in einem Vergleich zwischen der Lebenszufriedenheit von ökologisch und konventionell wirtschaftenden französischen Landwirt\*innen (MZOUGH, 2014).

Das Berufsbild Landwirt\*in unterliegt besonderen Rahmenbedingungen. Zum Beispiel fehlen die für Arbeitnehmer geltenden sozialstaatlichen Sicherungen und tarifrechtliche Regulierungen von Lohn und Arbeitszeit, was oftmals zu einer Aufhebung der Trennung von Arbeit und Freizeit und damit zu erheblichen körperlichen und psychischen Belastungen führt. Auch Markt- und Klimarisiken sowie ein kritisches Bild der Landwirtschaft in der Gesellschaft kann das Glücksempfinden negativ beeinflussen. Andererseits bietet die Landwirtschaft einige Vorzüge für die Lebensqualität. Dazu zählen u.a. das selbstbestimmte Arbeiten, die Nähe zur Natur, die Sinnhaftigkeit der eigenen Arbeit und die Integration von Arbeits- und Lebensort (PONGRATZ, 2010). Es ist anzunehmen, dass zwischen diesen Einflussfaktoren Substitutionsbeziehungen herrschen. Dieser Beitrag möchte aufzeigen, dass neben dem wirtschaftlichen Erfolg auch weitere Faktoren die Lebenszufriedenheit der Landwirt\*innen sowohl positiv als auch negativ beeinflussen können.

### Daten und Methodik

Dieser Beitrag beruht auf einer Umfrage, die die Fachzeitschrift *topagrar* in Zusammenarbeit mit dem deutschen Landfrauen-Verband im Jahr 2017 durchgeführt hat. Die Daten wurden uns von *topagrar* im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung anonymisiert zur Verfügung gestellt<sup>1</sup>. 2844 deutsche Landwirt\*innen beteiligten sich an der Umfrage. Als Online-Version über die Homepage der *topagrar* und als Beilage in der Januarausgabe 2017 wurde der Fragebogen deutschlandweit verteilt. Der Fragebogen umfasste insgesamt 38 Fragen zu diversen Bereichen aus dem Arbeits- und Lebensumfeld der

---

<sup>1</sup> Ein besonderer Dank an die *topagrar* und den Deutschen Landfrauenverband e.V. für die Bereitstellung der Daten und Reingard Bröcker (*topagrar*) für die Beantwortung vieler Fragen.

Landwirt\*innen. Beispielsweise wurde gefragt, was am Hofleben besonders geschätzt wird (z.B. Vereinbarkeit von Familie und Beruf, freie Arbeitseinteilung) oder als eher störend wahrgenommen wird (z.B. hohe Arbeitsbelastung, fehlende Wertschätzung von Gesellschaft und Politik). Außerdem wurden die Wahrnehmung der gesellschaftlichen Anerkennung und die empfundene Wertschätzung aus dem privaten Bereich abgefragt. Ein weiterer Fragenkomplex bezog sich auf Quellen der persönlichen Motivation (z.B. Geld, Neugier), aber auch der Demotivation (z.B. Bürokratie, Kritik von Tier- und Umweltschützern). Weiterhin wurde nach dem Engagement in Vereinen oder Verbänden gefragt und wie die Zukunftsaussichten der Landwirtschaft im Allgemeinen und des eigenen Betriebs im Besonderen gesehen werden. Abschließend wurden Fragen nach Alter, Familienstruktur und Betriebscharakteristiken gestellt. Von besonderem Interesse ist in dieser Untersuchung die Frage nach der Häufigkeit der Glücksmomente, die von den Befragten mit „häufig“, „manchmal“, „selten“ oder „nie“ beantwortet werden konnte. Diese ordinal skalierte Variable stellt in einer Ordered-Logit-Schätzung (OL) den Regressanden dar. Die ordinal logistische Regression basiert auf der Überlegung, dass bei der Messung der abhängigen Variable zwar nur diskrete Kategorien erfasst werden können, hinter diesen Kategorien aber eine stetig latente Variable liegt, die durch  $\beta'x$  vorhergesagt wird (WINDZIO, 2013):

$$y^* = \beta'x + \varepsilon \quad (1)$$

Durch die bestehenden Kategorien werden Schwellenwerte definiert und die Odds Ratios (siehe Formel 2) berechnet, die die Chancen der Befragten repräsentieren, sich in eine der höheren Kategorien zu befinden, wenn die Ausprägung von  $x$  vorliegt.

$$\frac{\frac{p_1}{1-p_1}}{\frac{p_2}{(1-p_2)}} \quad (2)$$

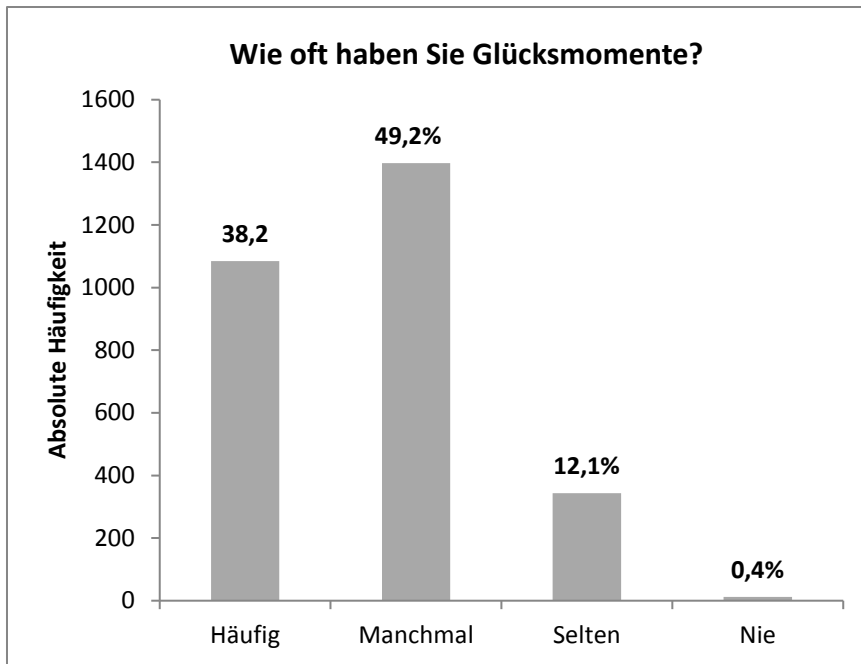
Die Proportionalitätsannahme postuliert, dass sich die Stärke der Effekte nicht zwischen den Kategorien unterscheidet. Es wird also eine konstante Linearkombination aus Regressionsgewichten und Ausprägungen der erklärenden Variable ( $\beta'x$ ) angenommen und daher auch nur ein Koeffizientenvektor für alle Schwellen geschätzt (WINDZIO, 2013). Neben der OL-Regression werden auch die Häufigkeiten der Kategorie „Glücksmomente“ mit der jeweiligen Ausprägung von  $x$  in Relation gesetzt.

## Ergebnisse

Insgesamt 2837 deutsche Landwirt\*innen nahmen an der Befragung teil. Der Frauenanteil beträgt 36 %. Von den 1610 Betriebsleitern und Betriebsleiterinnen, die an der Befragung teilgenommen haben, sind 12 % weiblich und damit ähnlich dem bundesweiten Anteil von 10 % der von Frauen geführten Betriebe (DBV, 2018). Die größte Altersgruppe (41 %) wird durch die 46 bis 60 Jährigen vertreten. Direkt dahinter folgen die zwischen 26 und 45 Jahre alten Befragten mit 37 %. Verheiratet sind knapp 70 % und in einer Beziehung leben 20 % aller Landwirt\*innen. Die Familienstruktur gestaltet sich sehr unterschiedlich. So haben die größten Gruppen in der Stichprobe entweder mehr als 3 Kinder (35 %) oder keine (20 %).

Von den Befragten gaben 38% an, häufig Glücksmomente zu haben. Knapp 50% erlebten manchmal glückliche Momente, 12% eher selten und lediglich ein halbes Prozent der Befragten nie. Auf die Frage „Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Situation?“ gab die Mehrheit von 75% an, „sehr zufrieden“ oder „zufrieden“ zu sein. Die restlichen 25% waren „unzufrieden“ (22%) oder „sehr unglücklich“ (3%).

Abbildung 1: Häufigkeit der Glücksmomente



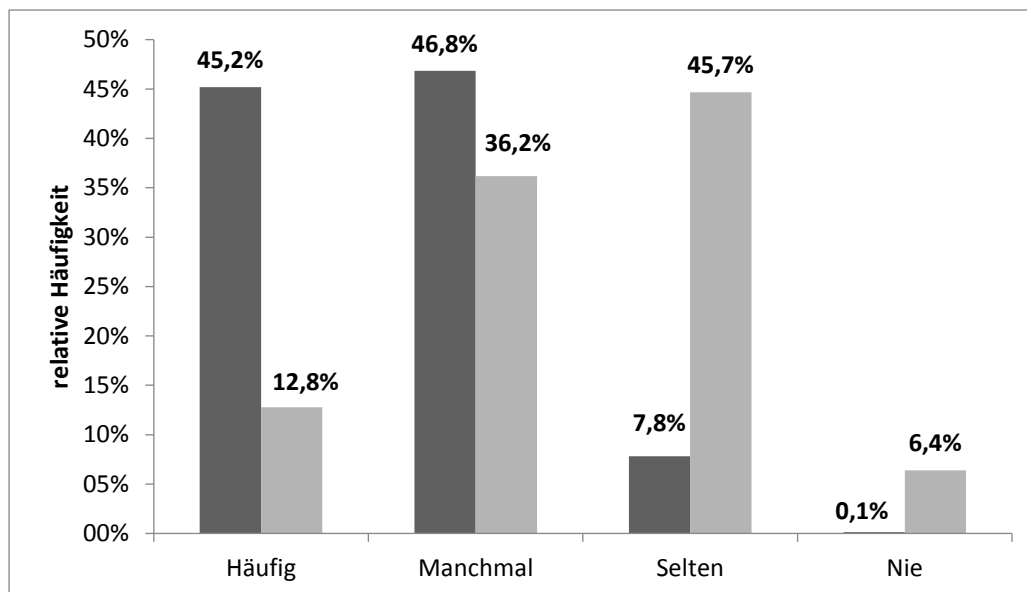
Quelle: eigene Berechnungen

Die Einstellung zum Beruf der Landwirt\*in wurde mit drei Antwortmöglichkeiten abgefragt. Darauf gaben 96 % an, dieser Beruf sei eine „Lebenshaltung“ oder zumindest ein „guter Beruf“. Nur knappe 4 % halten ihn für einen „Job, wie jeder andere auch“. Wer seinen Beruf als „Lebenshaltung“ oder zumindest einen „guten Beruf“ betrachtet, erlebt mit einer um den Faktor 2 höheren Wahrscheinlichkeit „häufig“ oder „manchmal“ Glücksmomente.

Das Hofleben spielt für das Glücksempfinden ebenfalls eine wichtige Rolle. So geben 74 % der Befragten an, das Hofleben als abwechslungsreich und schön zu empfinden. Nur 1,6 % finden es hingegen eintönig und langweilig. Bereits an den Häufigkeiten (Abb. 2) ist zu erkennen, dass diejenigen, die das Hofleben positiv schätzen (dunkelgrau), häufiger Glücksmomente empfinden als diejenigen, die es eher negativ bewerten (hellgrau). Wird das Hofleben als abwechslungsreich und schön empfunden, so sind die Chancen häufig oder manchmal glücklich zu sein 3,53-fach höher als bei denen, die es nicht so empfinden.

Abbildung 2: Häufigkeit der Glücksmomente im Verhältnis zur Wertschätzung des Hoflebens

1 = abwechslungsreich und schön (dunkelgrau); 1 = eintönig und langweilig (hellgrau)

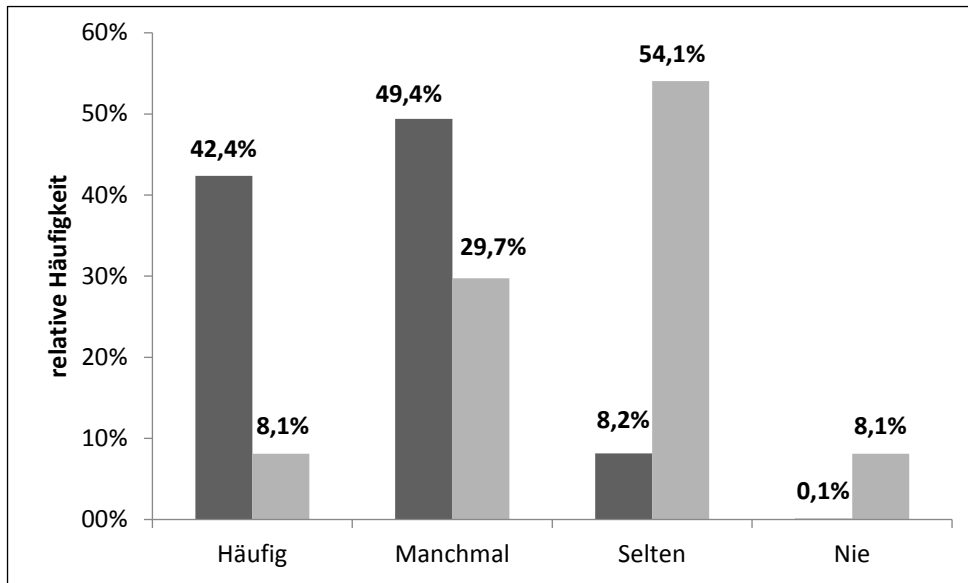


Quelle: eigene Berechnungen

Auch für Landwirt\*innen ist es notwendig, die tägliche Arbeit zu bewältigen und in Einklang mit Zeit zur Erholung zu bringen. Wenn das nur unzureichend getan wird oder gar nicht möglich ist, schlägt sich dies auch auf das Lebensglück nieder. Von den befragten Landwirt\*innen gaben gute 35 % an, sich „ausgeglichen zu fühlen“, wohingegen etwa 4 % antworteten, sie fühlten sich „völlig ausgebrannt“. Angesichts der Arbeitsbelastung von über 40 bis zu mehr als 80 Stunden pro Woche für 62 % der Befragten erscheint dies ein augenscheinlich geringer Anteil. Die Wahrnehmung der Arbeitsbelastung spielt jedoch eine bedeutende Rolle für das Empfinden von Glück. So sind diejenigen Landwirt\*innen, die angeben ausgeglichen zu sein, mit einer um den Faktor 4 höheren Wahrscheinlichkeit auch häufiger glücklich. Soziale Anerkennung steht im positiven Zusammenhang mit Zufriedenheit (MZOUGH, 2014). So wurde auch in vorliegender Studie abgefragt, ob sich die Befragten als Landwirt\*in oder Angehörige\*r einer Landwirtschaftsfamilie anerkannt fühlen. Ein Drittel bejahte mit dem Zusatz, „kritische Nachfragen hätten zugenommen“ und ein weiteres Drittel verneinte die Frage und betonte, dass der Berufsstand in den „sozialen Medien an den Pranger gestellt werde“. Erstere sind mit einer um den Faktor 1,6 höheren Wahrscheinlichkeit glücklicher als ihre Berufskolleg\*innen. Intrinsische und extrinsische Motivationen sind wichtige Triebkräfte einen landwirtschaftlichen Betrieb erfolgreich zu führen. Auf die Frage, was sie antreibt, wählten zwei Drittel der Befragten die Antwortmöglichkeit „den Betrieb weiterzuentwickeln“ und 1,3 % wählten „gar nichts“. Deutliche Unterschiede im Erleben von Glücksmomenten lassen sich in dem Histogramm in Abbildung 3 erkennen. Die Mehrheit derer, die den Betrieb weiterentwickeln wollen, erleben häufig oder zumindest manchmal Glücksmomente. Die Chancen in einer dieser Glückskategorien zu sein, steigen mit Zustimmung zu dieser Antwort um den Faktor 1,85. Ein großer Teil der Befragten, die angeben, sie würde „gar nichts“ motivieren, erleben dagegen nur „selten“ oder „nie“ Glücksmomente. Die zukunftsorientierte Betriebsplanung scheint offenbar ein wichtiger Faktor für die Lebenszufriedenheit zu sein.

Abbildung 3: Häufigkeit der Glücksmomente im Verhältnis zur Motivation

1 = den Betrieb weiterentwickeln (dunkelgrau); 1 = gar nichts (hellgrau)

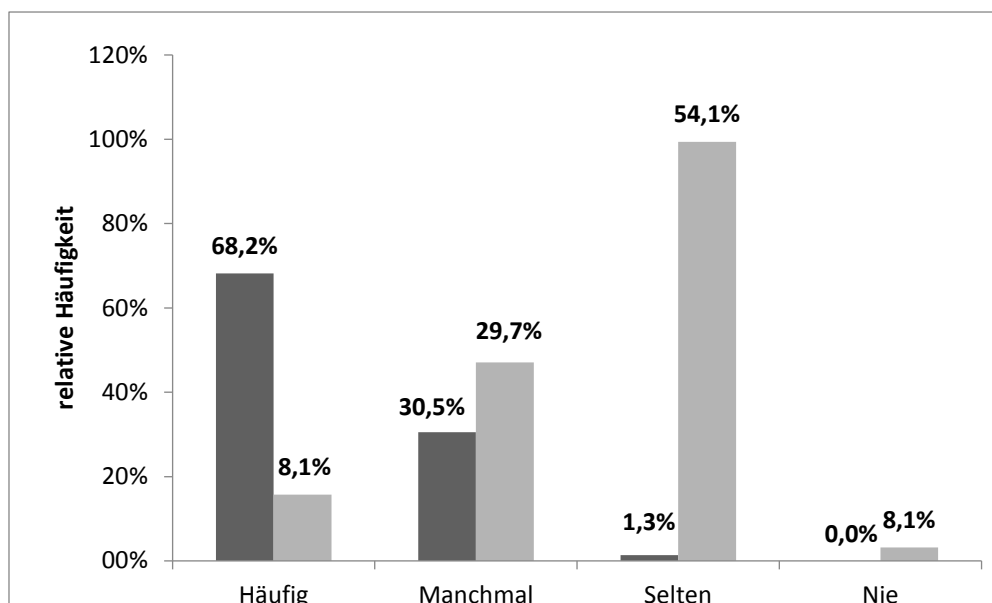


Quelle: eigene Berechnungen

„Landwirte setzen sich stark für das soziale Miteinander ein.“ heißt es in einem Online-Artikel des deutschen Landwirtschaftsverlages (Agrarheute vom 29.5.2018). Das spiegelt auch unsere Auswertung wider. Über 80 % der Landwirt\*innen engagieren sich in Vereinen oder Verbänden. Offenbar scheint dies auch einen positiven Einfluss auf die Zufriedenheit zu haben, denn wer in Vereinen tätig ist, ist mit einer um den Faktor 1,7 höheren Wahrscheinlichkeit in einer der beiden höheren Glücksklassen („häufig“ oder „manchmal“). Auch der Blick in die Zukunft ist entscheidend für das Glücksempfinden der Landwirt\*innen. Optimistisch sind zumindest knappe 16 % der Befragten, pessimistisch sind rund 13 %. Inwiefern die Zukunftsaussicht das allgemeine Glücksempfinden beeinflusst, lassen bereits die relativen Häufigkeiten (Abb. 4) erahnen. Von den Probanden, die auf die Frage „Wie sehen Sie die Zukunft der Landwirtschaft“ mit „optimistisch“ antworteten (dunkelgraue Säuen) erleben knapp 70 % häufig und kein einziger „nie“ Glücksmomente. Im Gegensatz dazu, erleben von den Pessimisten (hellgraue Säulen) über 60 % nur „selten“ oder „nie“ glückliche Momente.

Abbildung 4: Häufigkeit der Glücksmomente im Verhältnis zur Sicht in die Zukunft

1 = optimistisch (dunkelgrau); 1 = pessimistisch (hellgrau)



Auch die Ordered-Logit-Regression (OLR) ergab, dass optimistische Probanden mit einer signifikant höheren Chance (Faktor 4) in einer der höheren Glückskategorien zu finden sind.

Ein Vergleich der Geschlechter ergab, dass der Anteil Frauen in der Glückskategorie „häufig“ signifikant höher und in der Kategorie „selten“ signifikant niedriger ist als der Männeranteil. Die OLR bestätigt, dass Frauen mit einer signifikant höheren Chance (Faktor 1,5) häufiger glücklich sind als Männer.

### **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Dieser Beitrag zeigt auf, dass neben wirtschaftlichen Erfolgsfaktoren auch nicht-monetäre Werte und Einstellungen einen Effekt auf die Lebenszufriedenheit deutscher Landwirte haben. In der bisherigen agrarökonomischen Forschung spielen allerdings Modelle die Hauptrolle, die sich ausschließlich an dem Konzept des homo oeconomicus orientieren. Viele Autoren sprechen sich für eine Erweiterung aus, die auch internalisierte Wertevorstellungen sowie Motivationen einbeziehen, die keinen finanziellen Hintergrund haben.

Die statistische Auswertung der Daten von 2837 deutschen Landwirten hat ergeben, dass für das Glücksempfinden auch eine Identifikation mit dem Berufsbild Landwirt\*in, die Wahrnehmung des Hoflebens als „abwechslungsreich und schön“, eine gute Balance zwischen Arbeit und Freizeit sowie eine optimistische Sicht auf die Zukunft der Landwirtschaft eine wichtige Rolle spielen. Dass sich eine optimistische Sicht in die Zukunft auf das Glück der Landwirte auswirkt, wird auch dadurch bestätigt, dass Betriebsleiter\*innen, die ihren Hof weiterentwickeln wollen, häufiger glücklich sind, als diejenigen, die dies nicht als Motivation angeben. Soziales Engagement ist für einen Großteil der Landwirte selbstverständlich und trägt auch zur Lebenszufriedenheit bei. Anhand der Ergebnisse wird klar, dass Lebensglück nicht nur vom Betriebsgewinn abhängt, sondern sehr vielschichtig ist. Es ist also davon auszugehen, dass Landwirte bei ihren Entscheidungen noch weitere Faktoren als Gewinn und Verlust bedenken. Aus Sicht der Wissenschaft ist es deshalb ratsam, die traditionellen Modelle, die auf der Annahme der Gewinnmaximierung beruhen, zu überdenken und gegebenenfalls zu erweitern. Dass dies bereits in der Ökonomie breite Anwendung findet, ist an der Entwicklung verhaltensökonomischer Modelle ersichtlich, die zunehmend an Bedeutung gewinnen.

## Referenzen:

BENZ, M. (2006): Entrepreneurship as a Non-profit-seeking Activity. In: International Entrepreneurship and Management Journal 5 (1): 23-44.

DEUTSCHER BAUERNVERBAND E.V. (2018): Situationsbericht 2018/19 Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bauernverband.de/35-arbeitskraefte-und-auszubildende-807292>

DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTSVERLAG GMBH: Agrarheute „Fast jeder Landwirt engagiert sich ehrenamtlich.“ 29.5.2018. Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/land-leben/fast-landwirt-engagiert-ehrenamtlich-545242>

FEHR, E. und S. GÄCHTER (1998): Reciprocity and Economics: The Economic Implications of Homo Reciprocans. In: European Economic Review 42 (3-5): 845-859.

MZOGHI, N. (2014): Do organic farmers feel happier than conventional ones? An exploratory analysis. In: Ecological Economics

PONGRATZ, H. (2013): Arbeit und Nachhaltigkeit: Work-Life-Balance als gesellschaftliches Problem. Vortrag im Rahmen der Tagung „Wandel und Zukunft der Arbeit in der Landwirtschaft – am Beispiel milchviehhaltender Betriebe“ des Agrar Bündnis am 19. März 2013 in Kassel.

WINDZIO M. (2013) Mehr oder weniger: Ordinale logistische Regression. In: Regressionsmodelle für Zustände und Ereignisse. Studienskripten zur Soziologie. Springer VS, Wiesbaden



# Welche Parameter sind in Zukunft für den Qualitätsweizenanbau bei reduzierter N-Düngung entscheidend?

Anne Roßmann, Karl H. Mühling  
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

## Einleitung

Weizen ist mit einer weltweiten Produktion von 750 Mio. Tonnen auf einer Fläche von 220 Mio. Hektar (<http://www.fao.org/faostat/en/#compare>) eine wichtige Energie- und Proteinquelle in der menschlichen Ernährung. Da Weizen hauptsächlich in Form von Backwaren konsumiert wird, ist die Backqualität und damit die Konzentration und Zusammensetzung der Speicherproteine von besonderer Bedeutung. Landwirte nutzen vor allem die späte Stickstoff-(N)-Düngung, um die Backqualität zu verbessern. Einerseits ist Stickstoff für die Proteinsynthese im Weizen unverzichtbar, andererseits birgt diese Praxis jedoch Risiken für die Umwelt, wie beispielsweise Nitratauswaschungen in das Grundwasser und volatile N-Verluste in die Atmosphäre. Aus diesen Gründen müssen auch etablierte Düngungsstrategien immer wieder in Frage gestellt und neu bewertet werden.

Trotz der langen Geschichte der Forschung über Weizenproteine, sind die komplexen Zusammenhänge zwischen der Zusammensetzung des Glutens und den backtechnologischen Teigeigenschaften, sowie deren Beeinflussung durch die Düngung noch immer nicht gänzlich verstanden. Daher sind sie Thema der laufenden wissenschaftlichen Untersuchungen der Abteilung Pflanzenernährung des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde. In vorangegangenen Arbeiten wurde die Bedeutung der Schwefel-(S)-Ernährung für die Anreicherung von S-haltigen Gliadinen und Gluteninen hervorgehoben, die sich positiv auf die Protein- und Backqualität von Weizen auswirkte (Steinfurth et al., 2011; 2012a; 2012b; Zörb et al. 2009; 2010; 2012; 2013). Die Visualisierung des Proteinstusters konnte durch die zweidimensionale Gelelektrophorese (2D-PAGE) dargestellt werden. Besonders für die Reduktion der N-Düngung im Qualitätsweizenanbau gewinnt die S-Ernährung zunehmend an Bedeutung (Xue et al. 2016a; 2016b). In diesem Zusammenhang konnte gezeigt werden, dass vor allem das N/S-Verhältnis als Indikator für die Proteinqualität geeignet ist. Eine zu hoch angesetzte N-Düngung birgt die Gefahr eines N-induzierten S-Mangels, der sich auch negativ auf die N-Verwertungseffizienz von Weizen auswirkt. In einer jüngeren Arbeit wurden die Effekte einer späten N-Blattdüngung auf die Genexpression von Speicherproteinen und auf die Proteinkörperverteilung im Weizenkorn untersucht und bewertet, die im Folgenden dargestellt werden sollen.

## Material und Methoden

Als Teil des UK Defra WGIN Projektes (Barraclough et al., 2010) wurden in den Jahren 2016 und 2017 zwei Winterweizensorten in Backweizenqualität (Skyfall [SY] und Soissons [SS]) sowie eine Winterweizensorte in Futterweizenqualität (Conqueror [CN]) in einem Feldversuch in Großbritannien angebaut. Dabei wurden zwei N-Düngermengen (100 und 200 kg N ha<sup>-1</sup>) in dreifacher Wiederholung eingesetzt. Es wurde der Einfluss einer Harnstoff-Blattdüngung (40 kg N ha<sup>-1</sup>) zur Blüte auf die Proteinkonzentration und -zusammensetzung sowie auf die Backqualität untersucht. Dazu wurde das Gluten aus gemahlten Kornproben extrahiert und die Proteine mittels SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis) nach ihrer Größe aufgetrennt. Eine Auftrennung der Polymere wurde mithilfe der SE-HPLC (size-exclusion high performance liquid chromatography) vorgenommen. Zu fünf Zeitpunkten nach der Blüte (10, 14, 21, 28 und 35 Tage nach der Blüte) wurden Karyopsen entnommen,

um die Genexpressionsmessung der Speicherproteinfamilien während der Kornentwicklung mittels Real-Time PCR (polymerase chain reaction) zu messen. Weiterhin wurden lichtmikroskopische Untersuchungen der Kornquerschnitte vorgenommen, um die Proteinkörperverteilung innerhalb der Weizenkörner zu analysieren. Außerdem wurden Mikrobacktests von jeweils 10 g Vollkornmehl durchgeführt, um die Backqualität der Mehle beurteilen zu können.

Im Folgenden soll die Analyse der Proteinkörperverteilung im Kornquerschnitt näher erläutert werden. Dazu wurden die im Querschnitt vorhandenen Proteinkörper mit Hilfe von 1 % Naphthol Blue Black in 7 % (v/v) Essigsäure eingefärbt. Die lichtmikroskopischen Aufnahmen wurden Software-gestützt analysiert, wobei sämtliche eingefärbte Proteinkörper detektiert und einer von fünf konzentrischen Kornzonen zugeordnet wurden. Außerdem wurde die Größe der Proteinkörper in den jeweiligen Zonen ermittelt. In Abbildung 1 sind diese Analyseschritte verdeutlicht. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Software GenStat® (17. Edition, VSN International Ltd., Hemel Hempstead, UK).

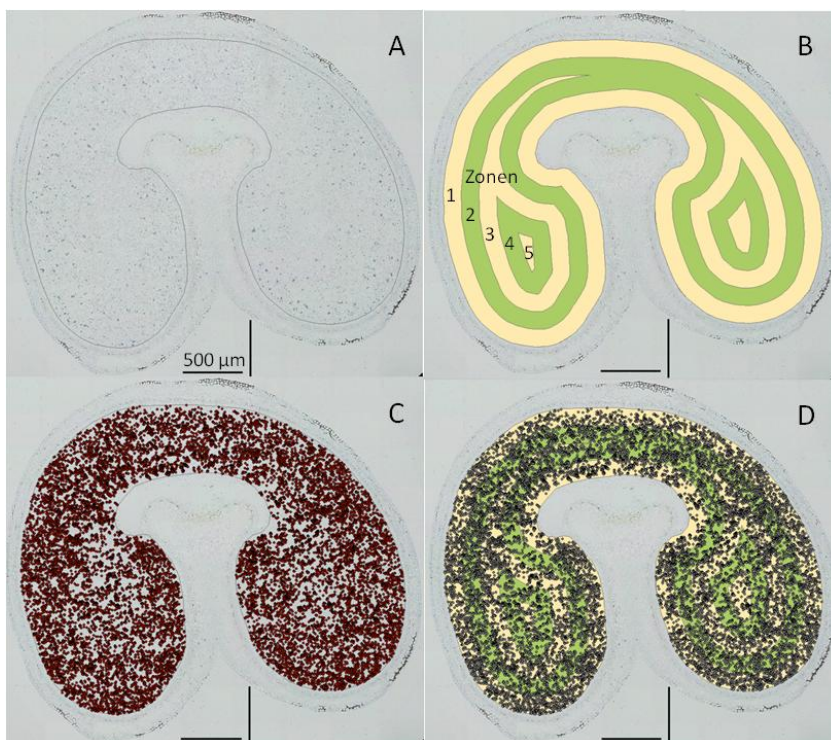


Abbildung 1: Übersicht der Analyse der Proteinkörperverteilung im Kornquerschnitt: Kornquerschnitt mit dunkelblau eingefärbten Proteinkörpern und einer eingezeichneten Linie direkt unterhalb der Aleuronschicht, die die äußere Begrenzung des Mehlkörpers (Endosperm) darstellt (A); Kornquerschnitt mit der Einteilung des Endosperms in fünf konzentrische Zonen von außen (1) nach innen (5) (B); Kornquerschnitt mit detektierten Proteinkörpern (C); Kornquerschnitt mit einer Bildüberlagerung der konzentrischen Zonen und der detektierten Proteinkörper (B und C), welche eine Zuordnung der Proteinkörper in die jeweilige Zone ermöglicht (D).

## Ergebnisse und Diskussion

Eine späte Harnstoff-Blattdüngung beeinflusste den Kornertrag kaum, während bei einer höheren N-Gesamtmenge (200 gegenüber 100 kg N ha<sup>-1</sup>) der Kornertrag signifikant anstieg. Infolge einer erhöhten N-Düngung konnte der Kornertrag um 2,9 t ha<sup>-1</sup> (2016) bzw. 1,2 t ha<sup>-1</sup> (2017) gesteigert werden.

Die Proteinkonzentration im Korn wurde in beiden Versuchsjahren sowohl durch eine höhere N-Düngung als auch durch eine späte Harnstoff-Blattdüngung gesteigert (siehe Abbildung 2). Ohne Blattdüngung lag die Proteinkonzentration bei durchschnittlich 8,9 %

(im Mittel über 100 und 200 kg N ha<sup>-1</sup>), die Harnstoff-Blattdüngung zur Blüte erhöhte diese auf 10,3 %. Die für Backweizensorten geforderte Proteinkonzentration von mindestens 12 % wurde lediglich von der Sorte Soissons im Jahr 2017 bei einer Düngung von 200 kg N ha<sup>-1</sup> mit zusätzlicher Blattdüngung erreicht.

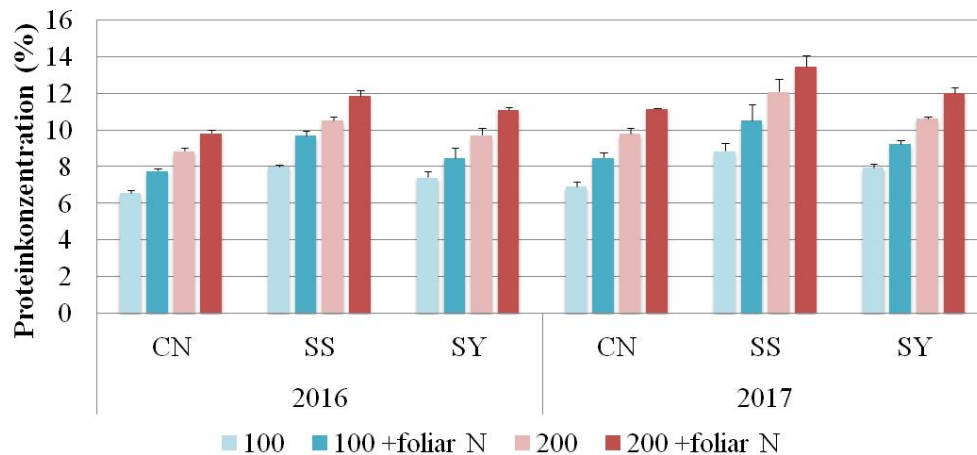


Abbildung 2: Proteinkonzentration im Korn der Weizensorten Conqueror (CN), Soissons (SS) und Skyfall (SY) in den Versuchsjahren 2016 und 2017 bei vier Düngungsvarianten (100 kg N ha<sup>-1</sup>; 100 kg N ha<sup>-1</sup>+ Blattdüngung (+foliar N); 200 kg N ha<sup>-1</sup>; 200 kg N ha<sup>-1</sup>+ Blattdüngung (+foliar N)). Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung der Wiederholungen.

Ein positiver Effekt der späten Harnstoff-Blattdüngung auf das Brotvolumen wurde ausschließlich bei reduzierter N-Düngung (100 kg N ha<sup>-1</sup>) beobachtet. Dabei war das Brotvolumen der Variante 100 kg N ha<sup>-1</sup> mit Blattdüngung (25,8 ml) mit dem der Variante 200 kg N ha<sup>-1</sup> ohne Blattdüngung (27,4 ml) vergleichbar.

Aus den Untersuchungen resultiert, dass ein Anstieg der Proteinkonzentration im Korn nicht zwangsläufig zu einer verbesserten Backqualität führt. Diese hängt vielmehr von der Zusammensetzung des Proteins ab. Die Harnstoff-Blattdüngung hatte ausschließlich bei geringer N-Gesamtmenge (100 kg N ha<sup>-1</sup>) ein geringeres Verhältnis von Glutenin-Untereinheiten mit hochmolekularem Gewicht zu Glutenin-Untereinheiten mit niedermolekularem Gewicht (HMW-GS/LMW-GS), sowie ein höheres Gliadin/HMW-GS-Verhältnis zur Folge, was zu einem erhöhten Backvolumen führte. Auch die Genexpression der Speicherproteinfamilien wurde mehrheitlich durch eine Blattdüngung gesteigert, jedoch wurde diese Steigerung lediglich bei geringer N-Düngung (100 kg N ha<sup>-1</sup>) beobachtet.

Infolge einer Harnstoff-Blattdüngung zur Blüte wurde in allen untersuchten Sorten die Proteinkonzentration in den äußeren Zellschichten des Endosperms erhöht, während sie im Zentrum des Endosperms sank. Diese Beobachtung ist in Abbildung 3 für die Sorte Soissons grafisch dargestellt.

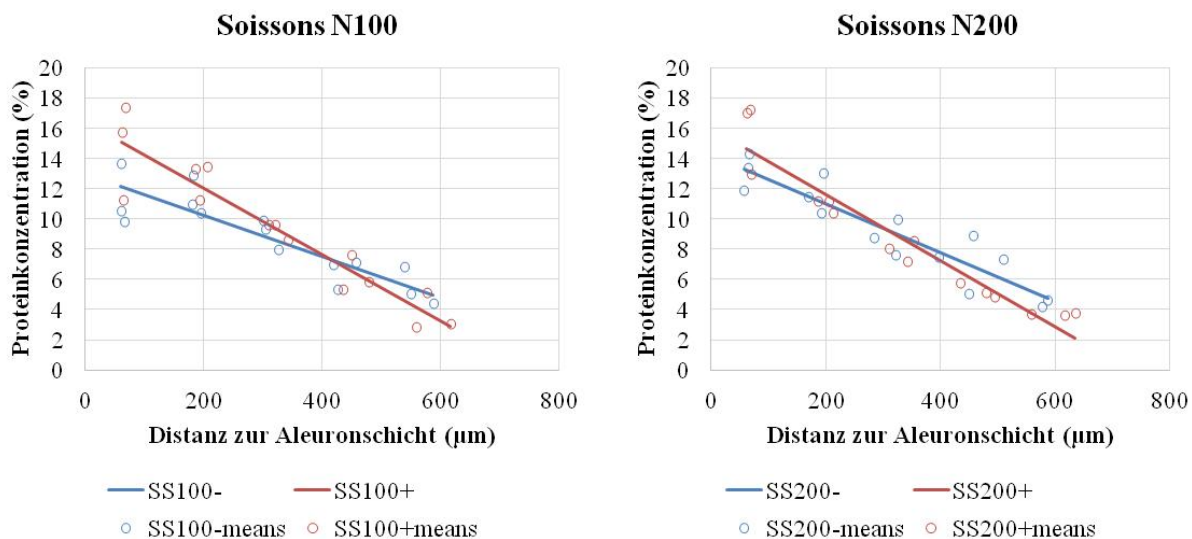


Abbildung 3: Proteinkonzentration innerhalb des Kornquerschnittes (21 Tage nach der Blüte) für die Sorte Soissons mit (rot) und ohne (blau) Blattdüngung zur Blüte bei den Düngungsstufen N100 (100 kg N ha<sup>-1</sup>) und N200 (200 kg N ha<sup>-1</sup>).

Da die Proteinkonzentration hauptsächlich in den äußeren Schichten des Mehlkörpers zunahm, muss damit gerechnet werden, dass ein Teil des positiven Effekts der Blattdüngung durch das Absieben der Spelze und den daran anhaftenden, mit Proteinen angereicherten äußersten Schichten des Mehlkörpers im Rahmen der Vermahlung verloren geht. Dieser Prozess konnte im durchgeführten Versuch nicht gänzlich abgebildet werden, da hier Vollkornmehl für die Backtests verwendet wurde. Erstmals wurde jedoch der Einfluss einer Harnstoff-Blattdüngung zur Blüte auf die Proteinkörperverteilung im Korn demonstriert.

Die lichtmikroskopische Analyse der sich entwickelnden Weizenkörner ergab außerdem, dass die Größe von Proteinkörpern je nach Sorte variiert und durch die N-Düngung zur Blüte beeinflusst werden kann. Die größten Proteinkörper befanden sich generell im mittleren Bereich des Mehlkörpers, der laut Zhou et al. (2018) die besten Backeigenschaften aufweist. Der Effekt einer Harnstoff-Blattdüngung zur Blüte auf die Verteilung der Proteinkörpergröße hängt stark von der untersuchten Sorte, der N-Versorgung der Pflanzen sowie der betrachteten Kornregion ab.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Harnstoff-Blattdüngung zur Blüte ein effektives Mittel darstellt, um die Backqualität besonders dann zu verbessern, wenn die N-Aufnahme vor der Blüte gering ist. Dies kann bei anhaltender Trockenheit im Frühjahr und Frühsommer der Fall sein. Außerdem wird deutlich, dass die alleinige Untersuchung der Proteinkonzentration nicht ausreicht, um die Backqualität adäquat zu beurteilen. Vielmehr muss eine Analyse der Zusammensetzung der Speicherproteine als auch die direkte Messung des Brotvolumens erfolgen. Hierfür müssen in Zukunft Methoden entwickelt werden, die schnelle und belastbare Ergebnisse liefern können, damit auf lange Sicht die Proteinkonzentration als Qualitätsparameter durch besser geeignete Kriterien abgelöst werden kann.

Die Analyse der Proteinkörperverteilung innerhalb des Weizenkorns hat gezeigt, dass nach erfolgter N-Blattdüngung zur Blüte die Proteinkonzentration in den äußeren Bereichen des Korns ansteigt, während sie im Zentrum des Mehlkörpers (Endosperm) sinkt. Dieser steilere Proteingradient innerhalb des Korns hat zur Folge, dass bei der Herstellung von Weißmehl durch das Absieben der Spelze und den

daran anhaftenden äußersten Schichten des Mehlkörpers während des Mahlprozesses wertvolle, proteinreiche Bestandteile des Weizenkorns verloren gehen können. Dadurch kann durchaus ein Teil der positiven Wirkung der späten N-Düngung auf die Backqualität des Mehls eingebüßt werden. Diese neuen Erkenntnisse können die Basis für weiterführende Untersuchungen bilden und so zu einer entsprechenden Anpassung des Mahlprozesses beitragen.

### **Danksagung**

Anne Roßmann dankt der Konrad-Adenauer-Stiftung e.V. für die finanzielle Unterstützung. Dr. Malcolm Hawkesford und Dr. Peter Buchner (Plant Science Department, Rothamsted Research) danken wir für die hervorragende Zusammenarbeit und die Bereitstellung des Feldversuchs sowie der labor-technischen Methoden und Geräte für die Messung der Genexpression und die mikroskopischen Untersuchungen. Wir danken Dr. George Savill (Plant Science Department, Rothamsted Research) für die wertvolle Unterstützung bei Probennahmen im Feld sowie bei der Aufbereitung und Analyse der Proben. Dr. Stephen Powers (Plant Science Department, Rothamsted Research) sei für seine umfangreiche Beratung im Rahmen der statistischen Auswertung gedankt. Außerdem bedanken wir uns bei Dr. Katharina Scherf (Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München) für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Durchführung der Backtests.

## Referenzen:

- Barraclough, P. B.; Howarth, J. R.; Jones, J.; Lopez-Bellido, R.; Parmar, S.; Shepherd, C. E.; Hawkesford, M. J. Nitrogen Efficiency of Wheat: Genotypic and Environmental Variation and Prospects for Improvement. *Eur. J. Agron.* 2010, 33 (1), 1–11.
- Steinfurth, D.; Mühling, K. H.; Zörb, C. Impact of nitrogen and sulfur fertilization on gluten composition and baking quality of wheat. In: *Gluten: Properties, Modification and Dietary Intolerance*, Ed. D. S. Fellstone, Nova Publishers, New York 27-49, 2011 (ISBN 978-1-61209-317-8)
- Steinfurth, D.; Zörb, C.; Braukmann, F., Mühling K. H. Time-dependent distribution of sulphur, sulphate and glutathione in wheat tissues and grain as affected by three sulphur fertilization levels and late S fertilization. *J. Plant Physiol.* 2012a, 169, 72-77
- Steinfurth, D.; Köhler, P.; Seling, S.; Mühling K. H. Comparison of baking tests using wholemeal and white wheat flour. *Europ. Food Res. Techn.* 2012b, 234, 845-851
- Xue, C.; Schulte auf'm Erley, G.; Rossmann, A.; Schuster, R.; Köhler, P.; Mühling, K. H. Split nitrogen application improves wheat baking quality by influencing protein composition rather than concentration. *Front. Plant Sci.* 2016a, 7, 738
- Xue, C.; Schulte auf'm Erley, G.; Rücker, S.; Köhler, P.; Obenauf, U.; Mühling, K. H. Late nitrogen application increased protein concentration but not baking quality of wheat. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2016b, 79, 591-601
- Zhou, Q.; Li, X.; Yang, J.; Zhou, L.; Cai, J.; Wang, X.; Dai, T.; Cao, W.; Jiang, D. Spatial Distribution Patterns of Protein and Starch in Wheat Grain Affect Baking Quality of Bread and Biscuit. *J. Cereal Sci.* 2018, 79, 362–369.
- Zörb, C.; Steinfurth, D.; Seling, S.; Langenkämper, G., Koehler, P.; Wieser, H., Lindhauer, M. G.; Mühling, K. H. Quantitative protein composition and baking quality of winter wheat as affected by late sulfur fertilization. *J. Agri. Food Chem.* 2009, 57, 3877-3885
- Zörb, C.; Grover, C., Steinfurth, D., Mühling K. H. Quantitative proteome analysis of wheat gluten as influenced by N and S nutrition. *Plant Soil* 2010, 327, 225-234
- Zörb, C.; Steinfurth, D., Gödde, V., Niehaus, K.; Mühling, K. H. Metabolite profiling of wheat flag leaf and grains during grain filling phase as affected by S fertilisation. *Func. Plant Biol.* 2012, 39, 156-166
- Zörb, C.; Mühling, K. H., Hasler, M.; Gödde, V.; Niehaus, K.; Becker, D.; Geilfus, C. M. Metabolomic responses in grain, ear, and straw of winter wheat under increasing sulphur fertilization rates. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2013, 176, 964-970

# Düngungsoptimum digital: Entscheidungs-„Navi“ gemäß Düngeverordnung in Sicht

Jan-Hendrik Buhk<sup>1</sup>, Hans-Hennig Sundermeier<sup>1</sup>

Institut für Agrarökonomie  
Abteilung landwirtschaftliche Betriebslehre und Produktionsökonomie,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

## 1 Einleitung und Problemstellung

Kaum sind Düngeverordnung (DüV vom 26.05.2017) und Stoffstrombilanzverordnung (StoffbilV vom 14.12.2017, BMEL 2018) in Kraft getreten, kündigt die Bundesministerin für Ernährung und Landwirtschaft mit einer Presserklärung (Nr. 32 vom 01.02.2019) aktuell weitere Verschärfungen des sogenannten „Düngepakets“ an, mit dem die Düngung, die Nährstoffeffizienz insgesamt und der Umweltschutz verbessert werden sollen. Ziel der Stoffstrombilanz ist es, Nährstoffflüsse in landwirtschaftlichen Betrieben transparent und überprüfbar abzubilden. Die Stoffstrombilanzverordnung regelt, wie landwirtschaftliche Betriebe mit Nährstoffen umgehen müssen und wie betriebliche Stoffstrombilanzen (im Sinne des § 11a Absatz 1 und 2 des Düngegesetzes) zu erstellen sind.

Danach ist für landwirtschaftliche Betriebe eine Nährstoffbedarfsermittlung für Stickstoff und Phosphor für jeden Schlag bzw. für jede Bewirtschaftungseinheit sowie die Dokumentation sämtlicher Düngungsmaßnahmen obligatorisch. Das Regelwerk enthält unter anderem Daten zum Nährstoffbedarf, zur Nährstoffzu- und abfuhr und zum Nährstoffanfall aus Tierproduktion. Ausbringungszeiträume zur Düngung, Stickstoffwirkungsäquivalente sowie Lagerungs- und Ausbringungsmodalitäten der Wirtschaftsdünger und Gärrückstände und die Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleiches sind ebenfalls klar reguliert.

Im Hinblick auf die aktuell angekündigte Verschärfung (u. a. Aufzeichnungspflicht der tatsächlichen Düngung; der errechnete Düngebedarf darf mit den Düngungsmaßnahmen nicht überschritten werden ...) gewinnt ordnungskonforme Düngeplanungs-Software weiter an Bedeutung. In der Praxis verbreitete Ackerschlagkarteisysteme erleichtern die Ermittlung der Nährstoffbedarfswerte, die Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleiches und die Dokumentation der Düngemaßnahmen. Die Auswahl regional verfügbarer Handelsdünger und die Allokation dieser und im Betrieb angefallener Wirtschaftsdünger und Gärrückstände auf die Schläge werden von diesen Systemen nicht unterstützt. Die zum Erhalt des Ertragsniveaus und zur Schonung des Ökosystems notwendige, effiziente Nutzung der Nährstoffe besonders aus Wirtschaftsdüngern und Gärrückständen kann nicht zweifelsfrei optimiert werden.

## 2 Das Planungsproblem „Düngung“

Die betriebswirtschaftliche Routineaufgabe „Düngeplanung“ ist mittlerweile so komplex geworden, dass viele Praktiker (Offizial-) Berater hinzuziehen. Abb. 1 skizziert die zu berücksichtigenden betriebswirtschaftlichen, pflanzenbaulichen und verordnungsbedingten Entscheidungsparameter und Nachweisgrößen. Die Ermittlung des Nährstoffbedarfs für die Makronährstoffe N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO und S für jeden Schlag ist der Ausgangspunkt einer jeden Düngeplanung.

---

<sup>1</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Agrarökonomie, Wilhelm-Seelig-Platz 6/7, 24118 Kiel, jhbuhk@ae.uni-kiel.de bzw. hsundermeier@lbv-net.de

Diese schlagspezifischen Bedarfswerte müssen termingerecht durch die Ausbringung von Handels- und Wirtschaftsdüngemitteln sowie von Gärrückständen unter Berücksichtigung der zeitabhängigen Stickstoffwirkungsäquivalente bei gleichzeitiger Einhaltung der Düngeverordnung gedeckt werden. Die Verfügbarkeit der Wirtschaftsdüngemittel und Gärrückstände im Betrieb resultiert aus der Tierhaltung (Datenquelle: HIT-Bestandsregister) bzw. dem Biogasbetrieb (Datenquelle: BGA-Betriebstagebuch), wobei Lagerbestände aus der Vorperiode und Aufnahme- bzw. Abgabeverträge über Wirtschaftsdünger und Gärrückstände diese weiter erhöhen bzw. vermindern können.

Weiterhin bedeutsam ist die Variation des Wirtschaftsdüngeranfalls aus Tierproduktion im Jahresverlauf, welcher über die Menge der Stickstoffstoffausscheidungen aus der Tierhaltung in Verbindung mit den in Untersuchungen ermittelten, realen Stickstoffgehalten der Wirtschaftsdüngemittel ermittelt werden kann. Gerade in den Wintermonaten muss die Düngeplanung die knappen Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdüngemittel und Gärrückstände vorsorglich und vorausschauend berücksichtigen. Differenzierte Ausbringungskosten (in Abhängigkeit von Schlaggröße, Schlag-Hofentfernung und Ausbringverfahren) sowie Vorgaben zu minimalen bzw. maximalen Ausbringungsmengen erhöhen die Komplexität der Planungsaufgabe, führen jedoch gleichzeitig zu einer betriebswirtschaftlich vollständigen Abbildung derselben.

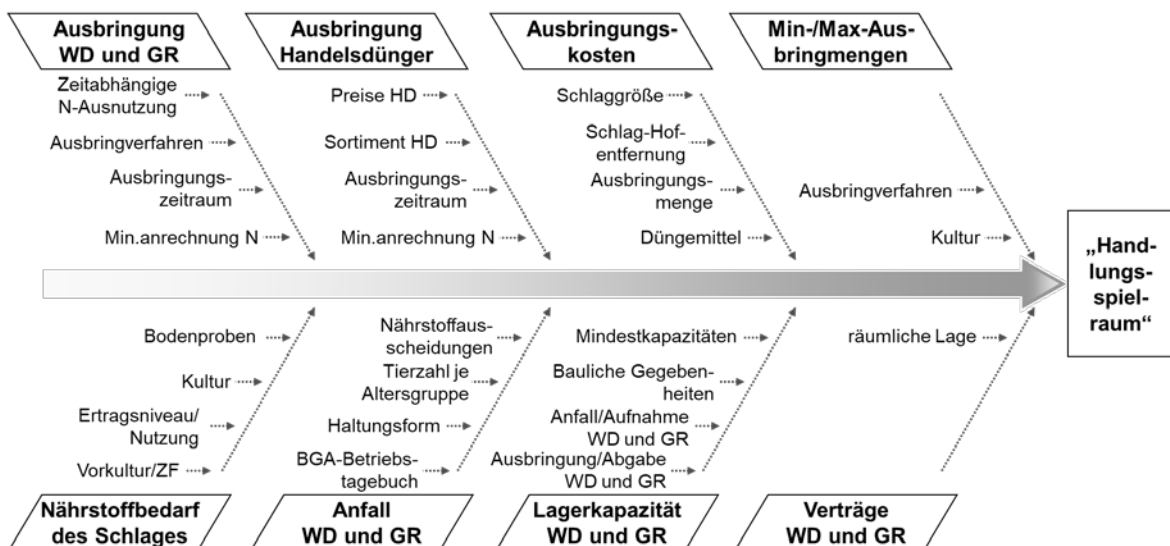


Abb. 1: Entscheidungsgrößen bei der Düngeplanung und ihre Einflussfaktoren.

### 3 Lösungsansätze aus Wissenschaft und Planungspraxis

Tab. 1 vergleicht einige Lösungsansätze zur Düngeplanung aus Wissenschaft und Planungspraxis hinsichtlich ihrer konzeptuellen Eigenschaften mit denen des hier vorgestellten Ansatzes. Ansätze aus der (Offizial-) Beratung, z. B. (LKSH 2018), bestehen zumeist aus Kalkulationshilfen für den verordnungskonformen Nachweis. Sie unterstützen überwiegend die Ermittlung des Nährstoffbedarfs und die Berücksichtigung der Wirkungsäquivalente für Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern und Gärrückständen. Voranschlagsrechnungen (z. B. von Wörle und Gaugler 2017) erfolgen schlagweise nacheinander und sind vorentscheidungsgetrieben. Sowohl die Düngemittel, als auch deren Ausbringungszeitpunkte müssen Berater/Landwirte bestimmen.



Diese sequentielle Herangehensweise betrachtet jeweils isoliert und nacheinander Einzelaspekte von Düngungsmaßnahmen – nicht jedoch das komplexe Zusammenwirken aller möglichen Entscheidungsalternativen (s. „Handlungsspielraum“ in Abb. 1). Erst dessen mathematisch korrekte Abbildung und simultane Gesamtbetrachtung im Düngungsjahr eröffnen methodisch den Weg zu einer betrieblich und zeitlich optimalen Allokation (bedarfsgerecht, kostenminimal und verordnungskonform) der Düngemittel (Wirtschafts- und Handelsdünger) auf die Schläge. Erste „Gehversuche“ mit dieser mathematisch komplexen Simultanbetrachtung waren bereits vor Jahrzehnten erprobt und erfolgversprechend (Sundermeier 1980).

Modellierungsbereich	Konzepttyp:	Offizialberatung	Wörle u. Gaugler (2017)	Sundermeier (1980)	unser Ansatz
	Entwicklungsziel	[Kalk.-hilfe]	"App"	[Diss.]	"Navi"
<b>grundlegende Modell-Parameter</b>	schlagspezif. Nährstoffbedarf	✓	✓	✓	✓
	Ausbringungszeitfenster	?	?	saisonal	monatlich
	vorentscheidungsfreie Handelsdüngerauswahl		[Vorabfestlegung]	Lokales Handelsdüngersortiment	
<b>Wirtschaftsdünger und Gärrückstände</b>	Nährstoffe, Wirkungsäquivalente	✓	✓	✓	✓
	Anfall (t)			✓	✓
	Lager (t)			✓	✓
	Abgabe-/Aufnahmeverträge				✓
<b>Ausbringungskosten</b>	Verlauf der Kostenkurve		?	linear	degressiv
	... diff. nach Schlagentfernung				✓
	... diff. nach Schlaggröße				✓
<b>Rechenweg</b>	über Vorentscheidungen		ja	[keine]	
	Kalkulationsabfolge		sequentiell	simultan	
<b>Abbildung „Handlungsspielraum“</b>	lineare Gleichungen/Relationen			✓	✓
	verfahrenstechn. Mindestmengen				✓
	MILP (gemischt-ganzzahlige, lineare Programmierung) mit approx. nichtlin. Relationen				✓
<b>Optimale Allokation</b>	über die Zeit im Düngejahr und			[✓]	✓
	... gleichzeitig über alle Schläge			[✓]	✓
...					

Tab. 1: Eigenschaften ausgewählter Entscheidungshilfe-Konzepte zur Düngungsplanung.

Erheblich leistungsfähigere Rechentechnik erlaubte aktuell den Übergang von der Linearen Programmierung zur gemischt-ganzzahligen Linearen Programmierung (MILP = Mixed Integer Linear Programming) und damit eine präzisere Abbildung besonders praxisrelevanter Aspekte des Handlungsspielraums (z. B. verfahrenstechnische Mindestmengen und näherungsweise degressive Ausbringungskosten).

#### 4 Praxistest mit einem Prototyp

Die bereits erfolgte und sich abzeichnende Verschärfung der Düngungsplanungs- und Nachweispflichten (s. Kap. 1) veranlasste eine Masterarbeit (Buhk 2018) mit der Zielsetzung, das simultane Planungskonzept (Sundermeier 1980) wieder aufzugreifen, durch noch präzisere Modellierung der ökonomischen Zusammenhänge und praktischen Restriktionen Anwendungsprobleme im Vorwege auszu-schließen, die aktuelle Gesetzeslage und alle verordnungsrelevanten Regelwerke und Datentabellen zu berücksichtigen und schließlich die Machbarkeit in einer prototypischen Umsetzung zu erproben.

Ausgangspunkt der Modellierung war ein real existierender Beispielbetrieb mit Milchviehhaltung, Bullenmast, Futterbau, Marktfruchtbau (Winterraps, Winterweizen und Wintergerste). Hinzu kam eine vertragliche Verflechtung mit einer Biogasanlage, die sich durch die Abgabe von Gülle an die Biogasanlage und durch die Aufnahme von Gärrückständen im Tausch auszeichnete. Die 29 Schläge lagen teils in der Nähe und teils bis zu 15 km weit von der Betriebsstätte entfernt, wobei sich zur Wirtschaftsdünger- und Gärrückstandsausbringung ein Wirtschaftsdüngerlager nahe der entfernt gelegenen Schläge befand.

Eine besondere fachliche Herausforderung war die sorgfältige und mathematisch korrekte Abbildung aller Aspekte des Handlungsspielraums. Für diesen Betrieb mit 29 Schlägen, vier Wirtschaftsdüngerarten (Gülle aus der Milchviehhaltung und der Bullenmast, Festmist aus der Kälberaufzucht, Gärrückständen aus einer Biogasanlage), drei Lagern für die flüssigen Wirtschaftsdünger mit unterschiedlicher Kapazität und in unterschiedlicher Schlagentfernung sowie dem ortstypischen Angebot an Ein- und Mehrnährstoff-Handelsdüngern für das Düngejahr 2017/18 (vom 01.07.2017 bis zum 30.06.2018) lässt sich die mathematische Aufgabe wie folgt beschreiben:

Minimiere die Summe aller düngerart-, schlag-, mengen- und terminspezifischen Beschaffungs- und Ausbringungskosten für alle Wirtschafts- und Handelsdüngerausbringungsaktivitäten in einem Düngejahr für alle Schläge und Fruchtarten eines Betriebs unter folgenden Nebenbedingungen:

- a) die termin-, fruchtart- und schlagspezifischen Nährstoffbedarfsmengen aller Makronährstoffe auf allen Schlägen sind zu befriedigen,
- b) terminspezifische Höchstmengenbeschränkungen (insbesondere für Wirtschaftsdünger) für jeden einzelnen Schlag bzw. Fruchtart sind einzuhalten,
- c) die Beschränkung von 170 kg N pro ha und der betriebliche Nährstoffvergleich sind für den Betrieb insgesamt einzuhalten,
- d) die terminspezifischen Verfügbarkeiten für Wirtschaftsdünger und Gärrückstände sind in Abhängigkeit vom Anfall, von den Lagerkapazitäten sowie von vertraglich vereinbarten, terminspezifischen Zufuhr- bzw. Abfuhrmengen zu berücksichtigen,
- e) verfahrenstechnische Mindestmengen sind für alle Düngerarten nicht zu unterschreiten und
- f) alle Ausbringungskosten sind für die jeweilige Verfahrenstechnik „verlaufsgetreu“ (degressiv) sowie in Abhängigkeit von Schlaggröße und -entfernung differenziert zu berücksichtigen.

Diese verbale Aufgabe ergibt mathematisch für den Testbetrieb eine Matrix der gemischt-ganzzahligen Linearen Programmierung (MILP) mit ca. 3.100 Entscheidungsvariablen (Spalten), ca. 2.000 Nebenbedingungen (Zeilen) und ungefähr 20.000 Nicht-Null-Koeffizienten. Mit professionellen Algorithmen lassen sich derart komplexe mathematische Aufgaben heutzutage in annehmbarer Rechenzeit lösen. Die entstehenden Ergebnisse (hier „Allokations-Optima“) sind allerdings für Praktiker nicht interpretierbar und müssen erst „rückübersetzt“ werden. Diese nachvollziehbaren Ergebnisberichte setzen sich zusammen aus:

a) der kostenminimalen, detaillierten, zeitlich auf Monatsbasis gegliederten Ausbringungsempfehlung für Handels- und Wirtschaftsdünger inkl. Gärrückstände (vgl. Abb. 2),

Monat Jahr	Düngungs- empfehlung		Schlag- nr.	Schlagname	Fläche	Kultur	Menge		
	Dünger	[EH]					ges.	je ha	im Monat
Feb 18	Gülle	[m³]	12	Hauskoppel 2	4,65	Silomais	46,5	10,0	
Feb 18	Gülle	[m³]	13	Hofkoppel	5,33	Silomais	144,4	27,1	
Feb 18	Gülle	[m³]	16	Dorfkoppel	4,83	Grünland, 5-Schnittnutzung	120,8	25,0	
Feb 18	Gülle	[m³]	17	lange Koppel	3,24	Grünland, 5-Schnittnutzung	81,1	25,0	
Feb 18	Gülle	[m³]	18	Dorfstr. rechts	4,67	Grünland, 5-Schnittnutzung	116,7	25,0	
Feb 18	Gülle	[m³]	19	Dorfstr. links	3,77	Grünland, 5-Schnittnutzung	94,4	25,0	
Feb 18	Gülle	[m³]	28	Hauskoppel (Grünland)	0,47	Grünland, 5-Schnittnutzung	11,8	25,0	
Feb 18	Gülle	[m³]							615,5
Feb 18	DAP	[dt]	14	große Koppel	16,86	Winterweizen A, B	19,4	1,2	
Feb 18	DAP	[dt]	17	lange Koppel	3,24	Grünland, 5-Schnittnutzung	4,0	1,2	
Feb 18	DAP	[dt]							23,3
Feb 18	SSA	[dt]	15	Hauskoppel	15,78	Winterraps	19,1	1,2	
Feb 18	SSA	[dt]							19,1

Abb. 2: Ausbringliste Februar (Ausschnitt)

b) den Nährstoffsummen und -salden aller Nährstoffe mit den Ausbringungs- und Handelsdüngerkosten für jeden Schlag (vgl. Abb. 3),

Schlag	Name Hauskoppel		Kultur Winterraps		FLIKNR DESHLIK012345678											
	Ertragserwartg.	45,85 dt/ha	Entfernung Hof	2,7 km	Entf. Substratlag.	2,7 km										
15	Fläche	15,8 ha	Vorkultur	Wintergerste												
	Kalkung	ja	Zwischenfrucht	nein												
Monat Jahr	Düngungs- empfehlung		Nährstoffe								Düngemittel- kosten [EUR]		Ausbringungs- kosten [EUR]		Düngungs- kosten [EUR]	
	Dünger	[EH]	ges.	je ha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	S	ges.	je ha	ges.	je ha	ges.	je ha
Aug 17	KonvK	[t]	62,7	4,0	0	0	0	79	1668	0	1.661	105	252	16	1.912	121
Aug 17	Mist	[t]	144,5	9,2	12	27	64	14	32	5	0	0	1.030	65	1.030	65
Sep 17	Hst	[dt]	16,5	1,0	48	0	0	0	0	0	414	26	80	5	493	31
Feb 18	SSA	[dt]	19,1	1,2	25	0	0	0	0	29	391	25	81	5	472	30
Mrz 18	DAP	[dt]	30,4	1,9	35	89	0	0	0	0	999	63	88	6	1.088	69
Mrz 18	Korn K	[dt]	95,4	6,0	0	0	242	36	0	30	2.290	145	129	8	2.419	153
Apr 18	Hst	[dt]	18,9	1,2	55	0	0	0	0	0	472	30	81	5	553	35
Summe:					175	116	306	129	1700	64	6.226	395	1.742	110	7.968	505
Bedarf:					-175	-116	-306	-83	-1700	-50						
Saldo:					0	0	0	46	0	14						

Abb. 3: Düngungsempfehlungen, Nährstoffbilanzierung und Düngungskosten für den Einzelschlag.

- c) einer zeitlich differenzierten Anfalls-, Lagerungs- und Ausbringungsübersicht für alle Wirtschaftsdünger und Gärrückstände (vgl. Abb. 4) und

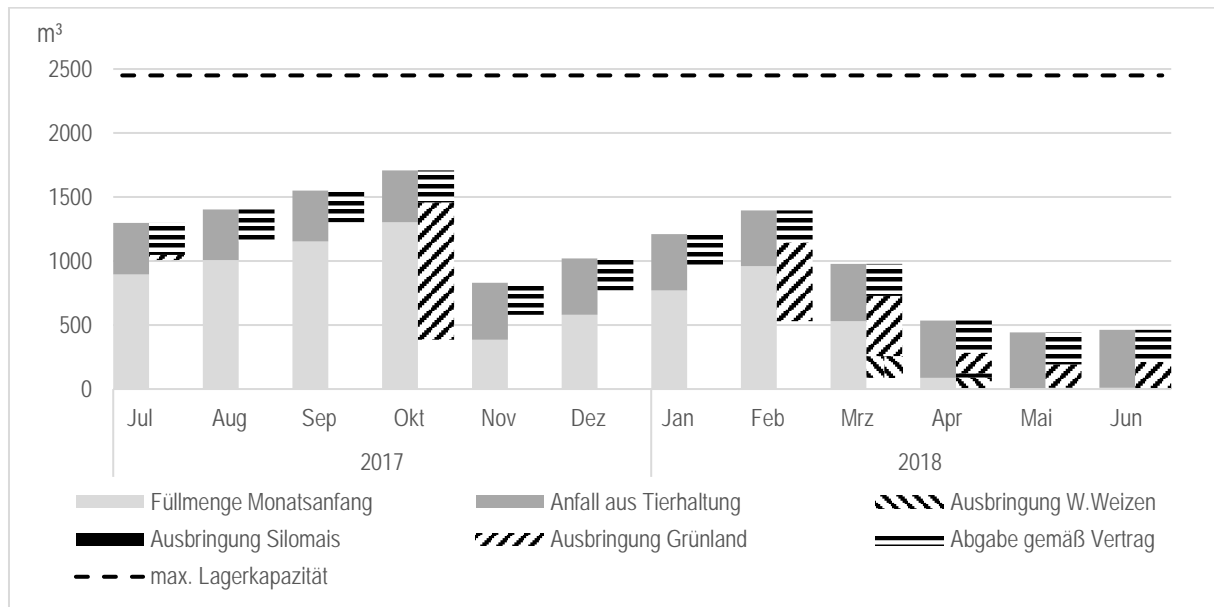


Abb. 4: Lagerübersicht Güllelager.

- d) einer Bestellliste der zur Umsetzung der Düngungsempfehlung erforderlichen Handelsdüngemittel (vgl. Abb. 5).

Dünger	[EH]	Menge	Preis [EUR/EH]	Düngerausgaben [EUR]
KonvK	[t]	62,7	26,50	1661,55
Hst	[dt]	354,1	25,00	8852,50
KAS	[dt]	34,9	19,50	680,55
UreaS	[dt]	43,2	25,50	1101,60
Piam	[dt]	25,5	27,90	711,45
SSA	[dt]	84,2	20,50	1726,10
ASS	[dt]	18,9	23,00	434,70
DAP	[dt]	148,6	32,90	4888,94
MAP	[dt]	22,6	34,90	788,74
Korn K	[dt]	206,5	24,00	4956,00
11 8 16	[dt]	13,1	26,80	351,08
5 15 30	[dt]	51,8	30,50	1579,90
Summe:				27733,11

Abb. 5: Bestellliste für den Landhandel.

Komplexitätstreiber sind neben der Anzahl der Schläge und dem Umfang des verfügbaren Sortiments an Handels- und Wirtschaftsdüngern inkl. Gärrückständen die betriebswirtschaftlichen Nebenbedingungen: a) Einhaltung der Nährstoffbedarfswerte, b) Kalkwertbilanzierung, c) Wirtschaftsdünger- und Gärrückstandsanfall sowie -lagerung, d) Mindestausbringmengen in Verbindung mit degressiven Ausbringkosten und e) düngerart- und kulturartabhängige Maximalausbringmengen.

## 5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die für die Masterarbeit gesetzten Ziele wurden ausnahmslos erreicht: praxistaugliche, verordnungskonforme Abbildung des komplexen Sachproblems in einem mathematischen Formelsystem, Lösung der Optimierungsaufgabe mit einem professionellen MILP-Algorithmus und Aufbereitung der Rohergebnisse in praktikable Handlungspläne für den Betriebsleiter. Eine Reihe von Diskussionen mit Praktikern und Experten aus der Offzialberatung bestätigen unsere Auffassung. Deren Vorschläge zur Modellverbesserung und -erweiterung (z. B. Berücksichtigung von Humusbilanzen im Formelsystem, jahreszeitlich differenzierte Abbildung von Arbeitskapazitätsengpässen) sind leicht umsetzbar. Die Aufgabenstellung im Testbetrieb war durch die vorhandene Vielfalt des Wirtschaftsdüngermanagements bereits so aufwendig, dass unseres Erachtens in der Praxis nur wenige Fälle mit höherer Komplexität auftreten dürften. Mit anderen Worten: die gewählte mathematische Methode (MILP) ist für einen Routineeinsatz in der Praxis ohne erkennbare Einschränkungen geeignet.

Vor einem Routine- bzw. Masseneinsatz in der Praxis steht jedoch noch eine „technische“ Hürde: Das einzelbetrieblich individuelle Formelsystem (Matrix) darf keine Fehler oder Ungenauigkeiten enthalten, da diese zu einem Abbruch des Lösungswegs oder fehlerhaften Ergebnissen führen würden. Der für den Testbetrieb gewählte manuelle Modellaufbau mit MS-EXCEL als Frontend ist im Routineeinsatz nicht praktikabel. Hierfür ist ein Programmsystem („Matrizen-Generator“) professionell zu entwickeln. Die prinzipiellen Bausteine für derartige Entwicklungen sind uns bekannt – eine Anpassung an aktuelle Systemplattformen, Schnittstellen, Datenhaltungssysteme und Berichtserfordernisse ist noch umzusetzen.

Bei einem Praxiseinsatz sind neben dem Mehrwert für die Umwelt erhebliche Kostenvorteile für den Einzelbetrieb zu erwarten - bei gleichzeitiger Einhaltung der Düngeverordnung. Damit bildet diese Arbeit unseres Erachtens einen Meilenstein („Proof of Concept“) auf dem Weg zu einer praxistauglichen Entscheidungshilfe („Navi“) für die digitale Düngungsplanung.

## Referenzen:

BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017): Düngeverordnung.

BMEL, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2018): Stoffstrombilanzverordnung.

BMEL (2019) Pressemitteilung Nr. 32 vom 01.02.19: Klöckner: "Schutz des Grundwassers geht uns alle an".

Buhk, J-H. (2018): Düngungsplanung gemäß DüV (2017) – Simultan kostenminimierende Allokation von Wirtschafts- und Handelsdüngemitteln (Prototypische LP-Entscheidungshilfe). Masterarbeit. Institut für Agrarökonomie. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

LKSH, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2018): Richtwerte für die Düngung 2018.

Sundermeier, H.-H. (1980): Düngungskostenminimierung. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Wörle, M.; Gaugler, T. (2017): IT-gestützte Optimierung der Düngeplanung in kleinen und mittleren landwirtschaftlichen Betrieben: Ein nachhaltiger Ansatz zur Steigerung des Betriebsergebnisses. In (Ruckelshausen, A. et al., Hrsg.): Referate der 37. GIL-Jahrestagung in Dresden. Bonn. S. 169-172

## Quinoa: Eine alte Kulturpflanze für den Anbau in Schleswig-Holstein

Nazgol Emrani, Dilan Sarange, Christian Jung  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Das schnelle Wachstum der Weltbevölkerung sowie die mangelnde Verfügbarkeit von Ackerland und zugänglichem Wasser stellen vor allem in vielen armen Ländern eine Herausforderung dar, die Bevölkerung mit ausreichenden und nahrhaften Lebensmitteln zu versorgen. Eine Möglichkeit, diese Herausforderung anzugehen, besteht darin, alternative Quellen für Grundnahrungsmittel zu finden, die auf Grenzertragsflächen und unter suboptimalen Umweltbedingungen angebaut werden können. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ist aufgrund ihres hohen Nährwerts und ihrer Toleranz gegenüber abiotischen Belastungen wie Trockenheit, Salzhaltiger Böden, Frost und Hitze eine Alternative zu Grundnahrungsmitteln ([Jacobsen et al. 2003](#)).

Quinoa gehört zur Familie der Amaranthaceae und wird seit etwa 5000 Jahren als Kulturpflanze in den Andenregionen kultiviert. Quinoa-Samen haben einen hohen Proteingehalt (10 bis 18%) mit einer vorteilhaften Aminosäure-Zusammensetzung ([Vilche et al. 2003](#)). Der Eiweißgehalt ist höher als der von Mais, Reis und Weizen (Tabelle 1). Das Quinoa-Protein mit 6,0% Lysin ist das einzige pflanzliche Protein, das alle essentiellen Aminosäuren für die menschliche Ernährung liefert (Tabelle 2). Neben der Proteinquantität und -qualität bieten Quinoa-Samen eine wertvolle Kombination von nützlichen Mikronährstoffen wie Kalium, Kupfer, Zink, Eisen und Kalzium sowie Ballaststoffe, Lipide, Kohlenhydrate und Vitamine ([Vega-Gálvez et al. 2010](#)). Darüber hinaus ist Quinoa auch glutenfrei, was es zu einem perfekten Getreideersatz für Menschen mit Zöliakie macht. In Anbetracht der oben genannten Fakten kann Quinoa eine Lösung bieten, um die wachsende Nachfrage nach qualitativ hochwertiger Nahrungsmittelproduktion speziell in Randgebieten zu decken, die nicht mehr für den Anbau von Hauptkulturarten wie Weizen oder Mais geeignet sind.

Tabelle 1- Makronährstoffgehalt von Quinoa im Vergleich mit einigen Hauptkulturarten (FAO, 2016)

	Quinoa	Bohnen	Mais	Reis	Weizen
Kalorien (Kcal/100 g)	399	367	408	372	392
Eiweiß (g/100 g)	16,5	28	10,2	7,6	14,3
Fett (g/100 g)	6,3	1,1	4,7	2,2	2,3
Kohlenhydrate (g/100 g)	69	61,2	81,1	80,4	78,4

Das Potenzial von Quinoa als "Superkorn der Zukunft" wurde in jüngster Zeit insofern erkannt, dass die Vereinten Nationen 2013 zum Internationalen Jahr von Quinoa erklärt haben (<http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/en/>). Trotz der vielversprechenden Eignung von Quinoa als Grundnahrungsmittel beschränkt sich die Produktion von Quinoa hauptsächlich auf Peru, Bolivien und Ecuador. Quinoa wird weltweit auf 185.350 Hektar angebaut und Peru allein trägt mehr als 50% (79.269 Tonnen) zur globalen Quinoa-Produktion (148.720 Tonnen) bei

(FAOSTAT, Februar 2018, <http://faostat.fao.org>). Für Deutschland sehen wir ihr Potenzial als hochpreisiges gesundes Nahrungsmittel aus dem umweltorientierten Landbau.

Tabelle 2- Essentielle Aminosäurezusammensetzung von Quinoa im Vergleich mit Mais, Reis und Weizen (FAO, 2016)

Aminosäuren (g/100 g Eiweiß)	Empfohlene Aminosäure Ge- halt (FAO)	Quinoa	Mais	Reis	Weizen
Isoleucin	3,0	4,9	4,0	4,1	4,2
Leucin	6,1	6,6	12,5	8,2	6,8
Lysin	4,8	6,0	2,9	3,8	2,6
Methionin	2,3	5,3	4,0	3,6	3,7
Phenylalanin	4,1	6,9	8,6	10,5	8,2
Threonin	2,5	3,7	3,8	3,8	2,8
Tryptophan	0,66	0,9	0,7	1,1	1,2
Valin	4,0	4,5	5,0	6,1	4,4

Quinoa-Herkünfte wurden zunächst in fünf Ökotypen unterteilt, darunter die Typen Valley, Altiplano, Sea Level, Subtropical und Salar, die sich in ihrer Toleranz gegenüber abiotischen Belastungen, ihrer Anpassung an Höhenlagen und ihrer photoperiodischen Reaktion unterscheiden ([Tapia et al. 1980](#)). Später, basierend auf verschiedenen unabhängigen Studien mit Hilfe molekularer Marker, wurden die Quinoa-Herkünfte in zwei Hauptgruppen unterteilt, (1) den Küstentyp aus dem Südwesten Chiles und (2) den Andenhochlandtyp aus dem Nordwesten Argentiniens bis nach Südkolumbien ([Maughan et al. 2012](#)). Quinoa-Sorten mit hohem Samenertrag und guter Qualität für den Einsatz in der menschlichen Ernährung und der Industrie, die von verschiedenen Zuchtprogrammen entwickelt wurden, basieren jedoch nur auf einer geringen Anzahl von Herkünften aus dem Altiplano, die eine sehr enge genetische Basis für Quinoa-Zuchtprogramme darstellen ([Jacobsen and Mujica 2002](#)). Daher sollten sich die Bemühungen neben der Erhaltung der Landrassen auf die Einführung neuer Herkünfte in die Zuchtprogramme konzentrieren, um die genetische Vielfalt der Quinoa-Herkünften zu erhöhen. Die Einführung neuer Herkünfte in verschiedenen geografischen Regionen erfordert eine Anpassung an unterschiedliche Umweltbedingungen, die hauptsächlich durch die Blütezeit geregelt wird. Die primäre Voraussetzung für den Quinoa-Anbau in Nordeuropa ist die Anpassung an lange Tage und kurze Sommer durch Veränderung des Blühzeitpunkts. Daher zielt unsere Arbeit darauf ab, die Regulierung des Blühzeitpunkts in Quinoa zu verstehen, indem wir die Erkenntnisse aus der nahen Verwandten Zuckerrübe nutzen. Um die Regulation des Blühzeitpunktes und von vielen anderen agronomisch wichtigen Merkmalen in Quinoa zu untersuchen, haben wir im Jahr 2018 350 verschiedene Quinoa-Genotypen im Zuchtgarten des Instituts für Pflanzenzüchtung in Kiel angebaut. Das Material wurde gleichzeitig an



fünf weiteren Orten auf 4 verschiedenen Kontinenten angebaut. Damit wird zurzeit eine Assoziationskartierung durchgeführt, um SNPs zu identifizieren, die mit züchterisch wichtigen Merkmalen assoziiert sind. Die Herkünfte werden dafür sequenziert, um eine komplette Abdeckung des Genoms mit SNPs zu erzielen. In unserem Versuch in Kiel haben wir eine breite Variation nicht nur für den Blühzeitpunkt, sondern auch bei anderen morphologischen und phänologischen Merkmalen beobachtet, womit ein aussichtsreiches Potenzial für Quinoa-Zuchtprogramme in Deutschland besteht. Zudem zeigt die Korrelationsanalyse zwischen den Merkmalen eine negative signifikante Korrelation zwischen Tage bis zur Blüte, Tage bis zur Reife sowie Pflanzenhöhe und Kornertrag. Diese Daten deuten darauf hin, dass früh blühende, früh reifende und kürzere Genotypen unter hiesigen Standortbedingungen höhere Erträge liefern würden und daher für den Anbau erwünscht sind.

Zur Erweiterung der genetischen Variabilität haben wir unterschiedliche Quinoa- Genotypen miteinander gekreuzt. Die Wahl von Kreuzungseltern spielt eine wichtige Rolle bei dem Erfolg des Zuchtprogrammes. Um eine große genetische Variation innerhalb der spaltenden Populationen schaffen zu können, müssen sich die Eltern der Populationen genetisch deutlich unterscheiden. Quinoa ist eine selbstbefruchtende Art mit sehr unterschiedlichen Auskreuzungsraten (0,5 bis 9,9%) zwischen verschiedenen Herkünften. Wir haben drei verschiedene Kreuzungsmethoden für die Produktion von Kreuzungsnachkommen (F1) in Betracht gezogen:

*Manuelle Kastration des weiblichen Elters:* Für diese Methode haben wir das von Peterson et al. (2015) vorgeschlagene Verfahren mit leichten Modifikationen angewandt. Die Pflanzen werden in kleinen Töpfen im Gewächshaus ausgesät, um die manuelle Kastrierung zu erleichtern. Für jede Kreuzung sollen die Eltern basierend von ihren Blühzeitpunkt zu drei verschiedenen Aussaatterminen ausgesät werden, um die Empfänglichkeit der Narbe zum Zeitpunkt der Bestäubung sicherzustellen. Dazu müssen die Eltern genau beobachtet werden. Sobald die Blütenknospe auf der Oberseite der Pflanze sichtbar ist und ca. 1,5 cm groß ist, wird sie mit der Schere entfernt. Nur drei bis vier Blütenstände sollten an der Pflanze verbleiben. Die Kastrierung wird durchgeführt, wenn die Antheren grün oder gelb-grün und relativ gut entwickelt sind. Eine zu frühe Kastrierung, wenn die Blüte kleiner ist und die Antheren noch nicht vollständig entwickelt sind, kann zu Verletzungen und zum Austrocknen der Narben und der Blüte führen. Erfolgt die Kastration zu spät, also nachdem die Antheren gereift sind und leuchtend gelb geworden sind, kann dies zum Zerschneiden der Antheren und zur Freisetzung von Pollen in der Blüte führen (Peterson et al. 2015). Die Kastrierung wird durch Entfernen der Antheren an den Blüten mit einer Pinzette unter einer Lupe mit mindestens 10-facher Vergrößerung durchgeführt.

*Kastrierung des weiblichen Elters mit warmem Wasser:* Hier wurde der Blütenstand des weiblichen Elters für 10 Minuten in ein Wasserbad von 45 °C getaucht. Über dieses Verfahren wurde zuvor in Amaranth berichtet (Stetter et al. 2016)

*Keine Behandlung:* Hier haben wir keine Behandlungen zur Kastrierung weiblichen Elters durchgeführt.

Unabhängig von der Kreuzungsmethode wird der Blütenstand des männlichen Elternteils zusammen mit dem kastrierten weiblichen Elter unter einer Isoliertüte gehalten. Die Tüten werden täglich geschüttelt, um die Bestäubung zu verbessern.

Um die F1 Pflanzen zu identifizieren, haben wir ein zweistufiges Selektionsverfahren entwickelt. Der erste Schritt ist die Selektion von vermutlichen F1-Pflanzen anhand morphologischer Merkmale, die sich in der Vaterpflanze dominant und in der Mutterpflanze rezessiv ausprägen. F1-Pflanzen zeigen dann den Phänotyp ihres Vaters. Bei der Auswahl der Eltern werden wir versuchen, die Linien mit dominanten morphologischen Merkmalen (z.B. Achselpigmentierung oder Hypocotylfarbe) als Vaterpflanze in der Kreuzung zu verwenden, um die Selektion von F1 Pflanzen zu vereinfachen. Falls es möglich ist, einen männlichen Elter mit dem dominanten Phänotyp mit einem weiblichen Elter mit dem

rezessiven Phänotyp zu kreuzen, können F1-Nachkommen leicht von Selbstungsnachkommen unterschieden werden. Der nächste Schritt wird im Labor durchgeführt, indem der Genotyp der auf den kastrierten Blüten erzeugten Samen bzw. der daraus erzeugten Pflanzen durch Markeranalyse bestimmt wird. Dazu werden Insertions-Deletions (InDel)- und AFLP-Marker verwendet, die zwischen den Eltern der Kreuzung polymorph sind. Es sind insgesamt 85 InDel Marker für Quinoa verfügbar ([Zhang et al. 2017](#)), von denen geeignete Marker in unserem Labor identifiziert wurden. Außerdem haben wir das Protokoll für die Selektion von F1-Pflanzen mit AFLP Markern optimiert, die wichtig sind, um Fremdbestäubungen genetisch ähnlicher Pflanzen vollkommen auszuschließen. Die F1-Pflanzen werden dann für die Erzeugung von F2-Samen geselbstet. Insgesamt haben wir F1-Nachkommen aus 23 verschiedenen Kreuzungskombinationen identifiziert. Die Kreuzungsrate war bei der manuellen Kastrierungsmethode höher als bei der Warmwasser-Methode. Wir konnten aber auch eine hohe Kreuzungsrate bei einigen Kreuzungen beobachten, die keiner Behandlung unterzogen wurden, was den Genotyp als wichtigen Faktor für die Erfolgsrate eines Kreuzungsexperiments anzeigt. Die vielversprechenden Nachkommenschaften dieser Kreuzungen mit den gewünschten Eigenschaften werden in den folgenden Jahren für die Anwendung in der praktischen Züchtung ausgewählt. Anhand dieser Maßnahmen werden wir in der Lage sein, potenzielle Quinoa-Genotypen für den Anbau in Nordeuropa zu identifizieren.

## Referenzen:

Jacobsen S-E, Mujica A (2002) Genetic resources and breeding of the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plant Genetic Resources Newsletter*:54-61

Jacobsen S-E, Mujica A, Jensen C (2003) The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19 (1-2):99-109

Maughan P, Smith S, Rojas-Beltran J, Elzinga D, Raney J, Jellen E, Bonifacio A, Udall J, Fairbanks D (2012) Single nucleotide polymorphism identification, characterization, and linkage mapping in quinoa. *The Plant Genome* 5 (3):114-125

Peterson A, Jacobsen SE, Bonifacio A, Murphy K (2015) A Crossing Method for Quinoa. *Sustainability-Basel* 7 (3):3230-3243. doi:10.3390/su7033230

Stetter MG, Zeitler L, Steinhaus A, Kroener K, Biljecki M, Schmid KJ (2016) Crossing methods and cultivation conditions for rapid production of segregating populations in three grain amaranth species. *Frontiers in plant science* 7:816

Tapia M, Mujica S, Canahua A (1980) Origen, distribución geográfica y sistemas de producción de la quinua. Primera reunion sobre genética y fitomejoramiento de la quinua Puno: Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Instituto Interamericana de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación Internacional para el Desarrollo:1-8

Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez EA (2010) Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90 (15):2541-2547

Vilche C, Gely M, Santalla E (2003) Physical Properties of Quinoa Seeds. *Biosystems Engineering* 86 (1):59-65. doi:[https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00114-4](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00114-4)

Zhang T, Gu M, Liu Y, Lv Y, Zhou L, Lu H, Liang S, Bao H, Zhao H (2017) Development of novel InDel markers and genetic diversity in *Chenopodium quinoa* through whole-genome re-sequencing. *BMC genomics* 18 (1):685

# Pflanzenschutzmittel und ihre Transformationsprodukte in Oberflächengewässern im ländlichen Raum

Uta Ulrich<sup>1</sup>, Matthias Pfannerstill<sup>2</sup>, Nicola Fohrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Natur- und Ressourcenschutz, <sup>2</sup>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume

## Einleitung

Pflanzenschutzmittel (PSM) werden seit Jahrzehnten zur Absicherung und Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge eingesetzt. Bereits seit dem „silent spring“ 1962 ist jedoch bekannt, dass der Einsatz von PSM nicht ohne Folgen für die Umwelt bleibt, was durch den aktuellen IPBES-Bericht noch einmal verdeutlicht wird. Trotz strengerer Vorgaben in den Zulassungsverfahren, PSM-Anwendung nach guter fachlicher Praxis und Sensibilisierung der Landwirte für einen behutsamen PSM-Einsatz, werden die Umweltqualitätsnormen von PSM-Wirkstoffen in stehenden und fließenden Oberflächengewässern sowie im Grundwasser überschritten. Die applizierten Wirkstoffe können in der Umwelt durch mikrobiellen oder chemischen Abbau sowie durch UV-Strahlung in ihrer Molekülstruktur verändert und in Transformationsprodukte umgewandelt werden. Diese TP sind im Vergleich zur Muttersubstanz um ein Vielfaches mobiler und persistenter und werden oft in höheren Konzentrationen in der Umwelt detektiert. Dabei gibt es bislang wenige Informationen über das Umweltverhalten und die Human-/Ökotoxizität von TP, so dass eine abgesicherte Risikoabschätzung nicht möglich ist. Auch Umweltqualitätsnormen gibt es für Transformationsprodukte in Oberflächengewässern nicht.

Im Vortrag wurden die folgenden ausgewählten Themen vorgestellt:

- Einfluss der Niederschlagsverteilung auf den Austrag von applizierten Wirkstoffen und Transformationsprodukten (TP)
- Belastungszustand von stehenden Kleingewässern in Agrarflächen (Söllen) in Bezug auf applizierte Wirkstoffe und TP
- Möglichkeiten zur Umsetzung von Maßnahmen bei einem partizipativen Ansatz

## Material und Methoden

Die Studie betrachtete das im Herbst applizierte Rapsherbizid Metazachlor sowie deren TP Oxalsäure (OA) und Sulfonsäure (ESA).

Im Einzugsgebiet (EZG) der Kielstau im Norden Schleswig-Holsteins wurden Messkampagnen nach Applikation der Wirkstoffe vom 24. Aug. - 31. Dez. 2015 und 22. Aug. - 06. Dez. 2016 durchgeführt, in denen die Kielstau als Fließgewässer und eine Drainage mit täglichen Mischproben (automatischer Probensammler) beprobt wurden (Abb. 1). Weiterhin wurden in diesen Zeiträumen Wasserproben ergebnisbezogen aus fünf Söllen entnommen (Schöpfproben). Die Sölle wurden zusätzlich vom 11. Apr. - 05. Jul. 2018 wöchentlich durch manuelle Proben beprobt. Hierbei wurden alle Proben auf 85 Substanzen untersucht.

Niederschlagsdaten wurden durch eine Campbell-Wetterstation im Untersuchungsgebiet erhoben und Abflüsse in der Kielstau und der Drainage mittels Drucksensoren für die Wasserstandsmessung und Pegelschlüsselkurven berechnet.

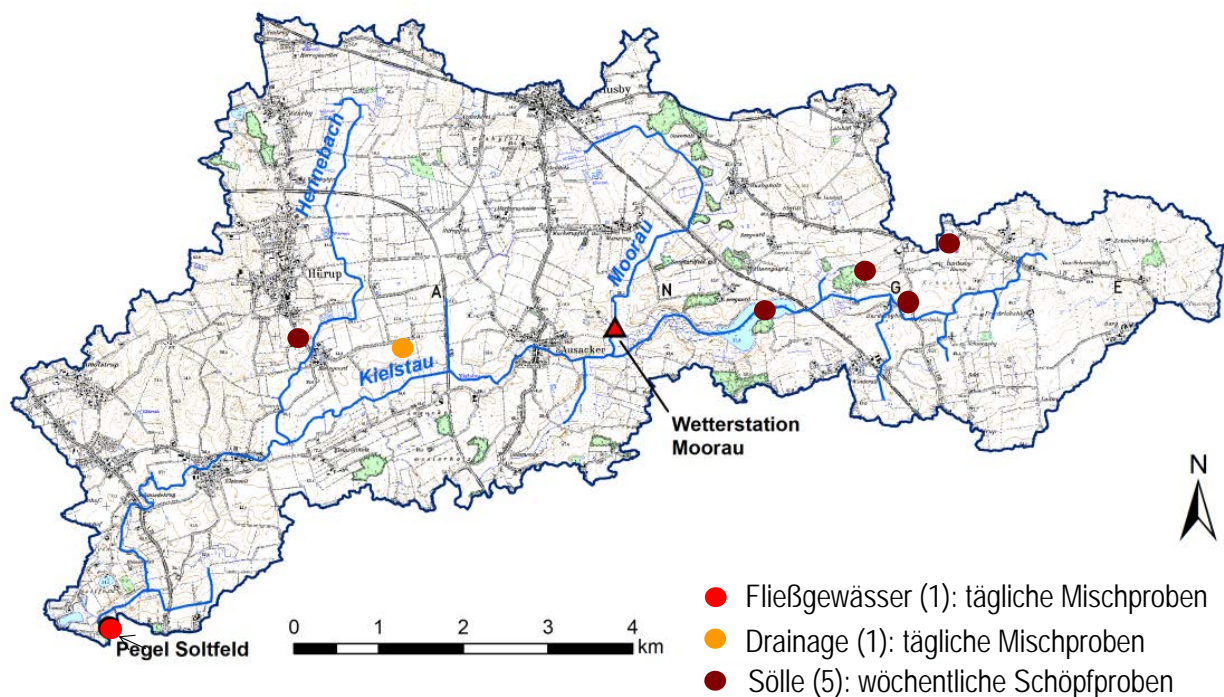


Abbildung 4: Einzugsgebiet der Kielstau mit Probenahmepunkten und Beprobungsintervallen

## Ergebnisse und Diskussion

### Effekt der Niederschlagsverteilung

Die beiden Untersuchungszeiträume 2015 und 2016 unterschieden sich grundlegend in ihren Niederschlagssummen und –verteilungen. Während es 2015 eine Regenperiode Mitte September und kontinuierliche Niederschläge von Anfang November bis Ende Dezember gab, traten 2016 ein extremes Regenereignis am 4. September von > 45mm auf und einige zusammenhängende Regentage Mitte Oktober mit einem Maximalwert von 25 mm auf. In Tabelle 1 sind die Charakteristika der beiden Messkampagnen dargestellt.

Tabelle 1: Niederschlagsdaten der Messkampagnen 2015 und 2016 jeweils vom 22.8.-31.12.

Parameter	2015	2016
Anzahl Regentage	85	68
Maximalwert [mm]	27	45 (lokal bis 90)
Summe [mm]	560	388

Metazachlor wurde Ende August/Anfang September appliziert. Durch die späten Niederschläge in 2015, die in geringem Maße Mitte September, hauptsächlich aber ab Anfang November auftraten,

wurde der Austrag von Metazachlor wenig beeinflusst. Die TP wurden bereits vor Applikation von Metazachlor als Rückstände aus Applikation aus vorherigen Jahr(en) in Konzentrationen von 1,1 µg ESA/L bzw. 0,23 µg OA/L detektiert, was ihre Persistenz belegt. Ungefähr 15 Tage nach der Applikationsperiode von Metazachlor stiegen deren Konzentrationen als Folge der Transformation von Metazachlor im Boden an. Ihr Austrag wurde durch die späten Niederschläge begünstigt. Durch die stärkere Polarität ist ESA mobiler und wird in stärkerem Maße ausgetragen als OA. Außerdem beträgt die Umsetzungsrate von Metazachlor zu ESA 0,22% und zu OA 0,16%. Die Maximalkonzentrationen der TP (ESA= 3,17 µg/L; OA= 1,4 µg/L) lagen deutlich über denen der Muttersubstanz Metazachlor von 0,37 µg/L.

In 2016 folgte das Starkregenereignis am 4.9. direkt auf den Applikationszeitraum von Metazachlor, wodurch ein hoher Austrag erfolgte, der Konzentrationen bis zu 1,6 µg/L bewirkte. Durch die Auswaschung von Metazachlor verblieb wenig dieser Substanz für Transformation im Boden zurück, so dass in dieser Messkampagne die maximalen Konzentrationen der TP bei 2,53 µg ESA/L und 1,74 µg OA/L lagen. Aufgrund der Persistenz der TP wurden 2016 dieselben TP-Konzentrationen wie 2015 aus den vorherigen Applikationen gemessen.

Neben den physikochemischen Eigenschaften der PSM und TP stellen die Niederschlagsmuster, also Zeitpunkt, Dauer und Intensität, einen weiteren relevanten Faktor für den Austrag dar. Insbesondere durch die Kombination aus Starkregenereignis mit Applikationsterminen/-perioden ergibt sich eine Situation mit einem hohen Austragspotential für PSM und ihre TP. So können sich die ausgetragenen Frachten je nach Niederschlagsmuster um den Faktor 30 für das Rapsherbizid Metazachlor erhöhen (Abb. 2). Dies ist vor dem Hintergrund der Prognose, dass zukünftig mit zunehmenden Starkregenereignisse gerechnet werden muss, von Bedeutung für Konzepte zur Austragsreduktion.

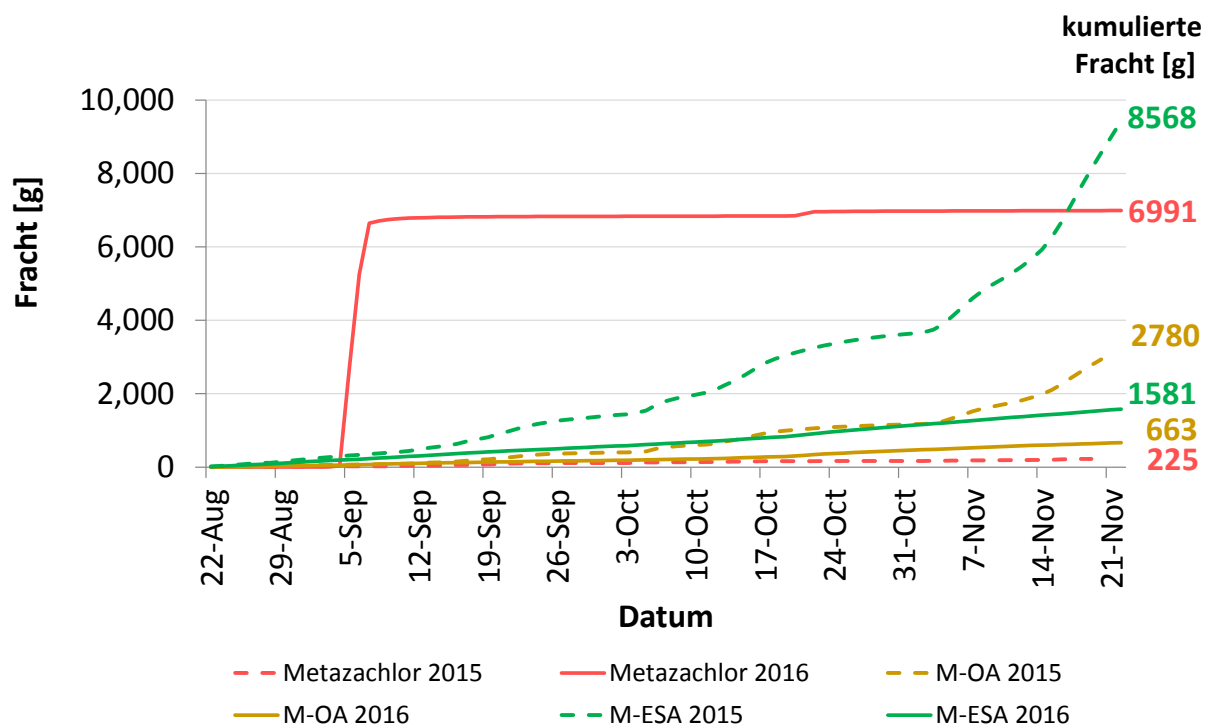


Abbildung 5: Kumulierte Frachten von Metazachlor, Metazachlor-Oxalsäure (M-OA) und Metazachlor-Sulfonsäure (M-ESA) vom 22.8.-22.11. in den Jahren 2015 und 2016 im Fließgewässer Kielstau

Auf der Feldskala stellt der Austrag aus Drainagen insbesondere in Schleswig-Holstein als Tieflandregion einen relevanten Eintragspfad von PSM-Rückständen in Oberflächengewässer dar. Auch hier zeigten sich durch ungünstige Kombination von Niederschlägen und Applikationstermin Maximalausträge von bis zu 35 µg Metazachlor/L. Die TP-Konzentrationen lagen wie auf der EZG-Skala über denen der Muttersubstanz. TP konnten jedoch auch ein Jahr nach Anwendung der Muttersubstanz detektiert werden.

### Belastungssituationen von Kleingewässern

Stehende Kleingewässer wie z.B. Sölle bieten durch ihre ständig wechselnden Bedingungen wie schwankende Wasserstände, variierende Wassertemperaturen und unterschiedliche Beschattung eine Vielzahl von Habitaten an. Dadurch sind sie für die Biodiversität von besonderer Bedeutung und können eine Vielzahl von Organismen, insbesondere Amphibien, beherbergen. Da Sölle häufig innerhalb landwirtschaftlicher Flächen liegen, sind sie durch direkte Einträge von PSM besonders gefährdet. Anders als bei Fließgewässern kann hier keine Verdünnung oder ein Abtransport der PSM erfolgen. Aufgrund ihrer geringen Größe werden sie in den Wasserrahmenrichtlinien-Messprogrammen nicht berücksichtigt, so dass es bislang erst eine geringe Datenbasis zu ihrer Belastung gibt (Ulrich et al., 2015). Es zeigte sich, dass die Sölle sehr unterschiedlich reagierten und keine einheitlichen Eintragsmuster für die PSM/TP zu erkennen sind. Der individuelle Anschluss des Solls an die Hydrologie der umgebenden Fläche scheint von besonderer Bedeutung zu sein. Bei den ereignisbezogenen Schöpfproben aus 2015 wurden ebenfalls Rückstände aus der Applikation der zurückliegenden Jahre beobachtet. Ebenso lagen die TP-Konzentrationen deutlich über denen des applizierten Metazachlors (Abb. 3) (Ulrich et al., 2018).

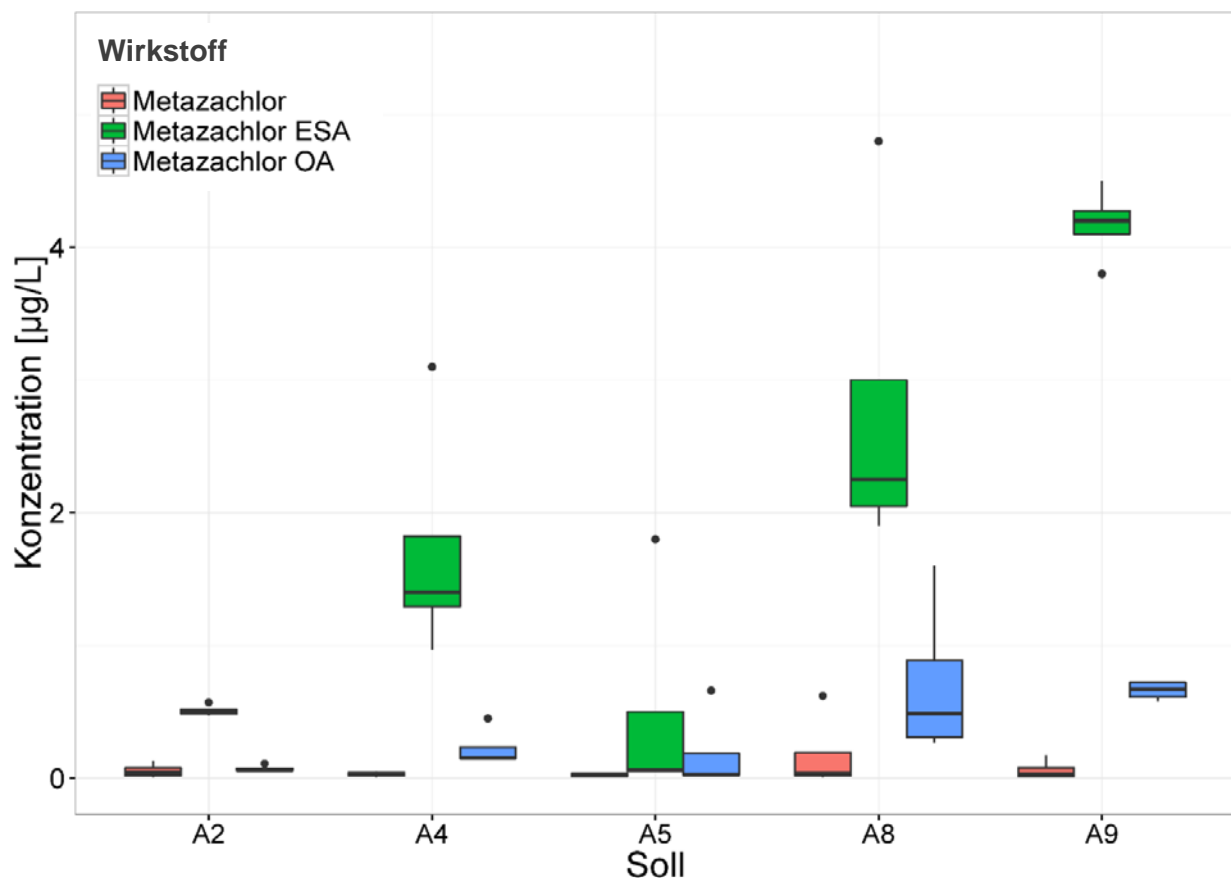


Abbildung 6: Konzentrationen von Metazachlor und seinen Transformationsprodukten Oxalsäure und Sulfonsäure in fünf Söllen im Einzugsgebiet der Kielstau im Herbst 2015 (ereignisbezogene Schöpfproben)

Im multi-target screening der Sölle 2018 wurden PSM-Cocktails von bis zu 36 Einzelwirkstoffen, davon ca. die Hälfte mit Konzentrationen  $> 0.02 \mu\text{g/L}$ , nachgewiesen. Die detektierten Einzelwirkstoffe lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Wirkstoffe, die in der Applikationsperiode März-Juni 2018 in der Kultur der Fläche appliziert wurden
- Wirkstoffe, die im Herbst 2017 in der Kultur auf der Fläche appliziert wurden
- Wirkstoffe, die nicht in Zusammenhang mit der aktuellen Flächennutzung stehen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Persistenz und das Transportverhalten der PSM/TP bislang unterschätzt wurden. Die in Datenbanken angegebenen Halbwertszeiten ( $DT_{50}$ ) decken sich nicht mit den Befunden (Lewis et al., 2016). Außerdem wurden sieben der detektierten Wirkstoffe in allen fünf Söllen ohne Zusammenhang zur aktuellen Nutzung der umgebenden oder der Nachbarfläche gefunden und legen die Vermutung nahe, dass sie sich durch die langjährige Anwendung bereits weiträumig verteilt haben.

### **Möglichkeiten zur Umsetzung von Maßnahmen**

Maßnahmen zur Reduzierung des PSM-Eintrags sind vielfältig entwickelt worden (z.B. die Projekte MAgPIE und TOPPS (European crop protection)), außerdem gibt es unter bestimmten örtlichen Bedingungen und je nach Wirkstoff verschiedene Auflagen für die Applikation. Trotz dieser Bemühungen ist es bislang nicht gelungen, die PSM-Konzentrationen weiter zu reduzieren. Im Rahmen des Projektes MUTReWa „Maßnahmen für einen nachhaltigen Umgang mit Pestiziden und ihren Transformationsprodukten im Regionalen Wassermanagement“ wurde im Einzugsgebiet der Kielstau ein Praxis- und Expertenrat gegründet, in dem aktive Landwirte aus dem EZG, der Bauernverband, der Wasser- und Bodenverband, die Landwirtschaftskammer, Naturschutzverbände, das Institut für Natur- und Ressourcenschutz das CAU Kiel, das LLUR und das MELUND vertreten waren. In ein bis zwei Treffen pro Jahr wurden die Ergebnisse der Messkampagnen vorgestellt und diskutiert. Außerdem wurden in diesem Rahmen die Maßnahmen, die in den Projekten MAgPIE und TOPPS erarbeitet wurden, zur Diskussion gestellt. Die Landwirte des EZG wurden jährlich zu Infoveranstaltungen eingeladen, auf denen ebenfalls über die Ergebnisse berichtet und diskutiert wurde. Die Landwirte stellten ihre Applikationsdaten zur Verfügung und willigten in die Beprobung ihrer Sölle ein. Aufgrund dieser intensiven Kommunikation entstand ein vertrauensvolles Verhältnis zu den Landwirten, das es ermöglichte, die Akzeptanz und Umsetzung von eintragsreduzierenden Maßnahmen konstruktiv zu diskutieren.

Die Diskussion mit den lokalen Landwirten zeigte, dass Maßnahmen bereits auf der Fläche durchgeführt werden sollten.

- Eine Aufweitung der Fruchtfolge würde den langfristigen Austrag der kulturspezifischen PSM reduzieren. Für diese Maßnahme müssen jedoch Absatzmöglichkeiten für die ergänzte Kultur vorhanden sein.
- Bei der Vorreinigung des Drainagewassers durch Rückhaltesysteme vor der Einleitung in die Vorflut sind hohe Anforderungen zu erfüllen. Feuchtfelder oder Retentionsteiche, die das Drainagewasser zurückhalten, um Sedimentation, Abbau oder verlangsamen/gedämpften Austrag zu ermöglichen, müssen auf das zu entwässernde EZG abgestimmt sein und eine entsprechend lange Verweilzeit ermöglichen. Dabei darf es zu keinem Rückstau kommen
- Gewässerrandstreifen wurden generell als praktikabel und umsetzbar bewertet. Die Landwirte wünschten sich Praxisbeispiele zur Gestaltung, die hilfreich bei der Umsetzung wären.



- Weiterhin müsste geklärt werden, inwiefern freiwillig angelegte breite Gewässerrandstreifen in der Nutzung gesetzlichen Einschränkungen unterliegen.
- Sölle können durch einfache Randverwallungen vor Einträgen aus Oberflächenabfluss und Drift geschützt werden. Zum Teil entstehen durch die Bodenbearbeitung bereits Pflugfurchen, so dass der Soll bereits geschützt ist (Abb. 4). Alternativ wird Bodenmaterial als Wall um das Gewässer zusammengeschoben, ein Bewuchs aus höherer Vegetation erhöht die Wirkung gegen Drift. An zwei Söllen legten die Landwirte auf freiwilliger Basis eine Randverwallung an.

Entscheidend ist die Sensibilisierung für dieses Thema in der landwirtschaftlichen Ausbildung, um den PSM-Einsatz auf das minimal notwendige Maß zu reduzieren und um stärker auf den integrierten Pflanzenschutz zurückzugreifen. Ebenso ist ein regelmäßiger Austausch zwischen Forschung, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz unerlässlich, um die Rückstände von PSM in den Gewässern weiter zu reduzieren.



Abbildung 7: Randverwallungen an Söllen durch gängige Bodenbearbeitung (links) und durch Zusammenschieben von Bodenmaterial (rechts)

### Fazit

Die hier aufgezeigten erhöhten PSM-Austräge nach Starkregenereignissen in Kombination mit Applikationszeiträumen werden durch die Klimawandel zukünftig häufiger auftreten. Hier gilt es, speziell zu diesem Gesichtspunkt effektive Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Auf der Feldskala zeigte sich, dass Drainagewasser zu kurzzeitigen Extrembelastungen im Vorfluter und für darin lebende Biota führt. Deshalb ist eine Vorreinigung des Drainagewassers besonders wichtig. Hierzu sind verschiedene Lösungsansätze in der Erprobung und müssen weiter vorangetrieben werden. Die Sölle zeigten sich insbesondere durch Vielfachbelastungen mit bis zu 36 Wirkstoffen gefährdet, da das System weniger dynamisch ist als ein Fließgewässer. Aufgrund ihrer großen Bedeutung für die Biodiversität müssen gezielt für diesen Gewässertyp effektive Schutzmaßnahmen entwickelt und umgesetzt werden wie es auch der Nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln fordert. Bei allen zu entwickelnden und umzusetzenden Maßnahmen gilt es, alle Beteiligten zu integrieren. Eine sachliche Zusammenarbeit, die auf einem vertrauensvollen und respektvollen Umgang miteinander basiert, ist hierbei unerlässlich.

## Referenzen:

IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), 2019. Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. <https://www.ipbes.net/news/ipbes-global-assessment-preview> (aufgerufen am 14.5.2019)

Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D.J., Green, A., 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 22, 1050–1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>

Ulrich, U., Hörmann, G., Unger, M., Pfannerstill, M., Steinmann, F., Fohrer, N., 2018. Lentic small water bodies: Variability of pesticide transport and transformation patterns. *Science of The Total Environment* 618, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.032>

Ulrich, U., Krüger, C., Hörmann, G., Fohrer, N., 2015. Datenlage zur Belastung der Kleingewässer durch Pestizide in Deutschland: ein Statusbericht. *HyWa* 59, 227–238. [https://doi.org/10.5675/HyWa\\_2015,5\\_3](https://doi.org/10.5675/HyWa_2015,5_3)

# Der Boden als endliches Gut in der Agrarwirtschaft

Sandra Spielvogel  
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Boden ist die Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft und Basis für die Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln, sowie nachwachsenden Rohstoffen. Über 90% der weltweiten Nahrungsmittelproduktion hängen unmittelbar vom Boden ab, das zeigt seine große Bedeutung für die Ernährungssicherung.

Aber Boden ist auch eine nicht erneuerbare Ressource, die immer knapper wird, denn Böden müssen einer Vielzahl miteinander konkurrierender Nutzungsansprüche genügen. Sie sind ein wichtiger Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere des Wasser- und Kohlenstoffkreislaufs und der Nährstoffkreisläufe. Sie bilden einen wichtigen Baustein für den Hochwasserschutz und tragen als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund ihrer Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere zum Schutz des Grundwassers bei. Darüber hinaus bieten Böden Flächen für Besiedlung, Verkehr und Freizeit und sind eine Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Dabei sind Böden ein sehr sensibles Schutzgut, denn fruchtbare Böden sind das Ergebnis langer physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse und einmal eingetretene Schäden sind kurzfristig kaum behebbar. Die Landwirtschaft steht heutzutage vor der Herausforderung, einen Beitrag zur Ernährungssicherung einer wachsenden Weltbevölkerung, auf vorhandenen, nicht beliebig erweiterbaren Flächen, zu leisten, ohne dass Natur und Umwelt dabei langfristig geschädigt werden.

## Die landwirtschaftlich genutzte Fläche geht zurück

Mehr als die Hälfte der deutschen Fläche wird landwirtschaftlich genutzt (Abbildung 1).

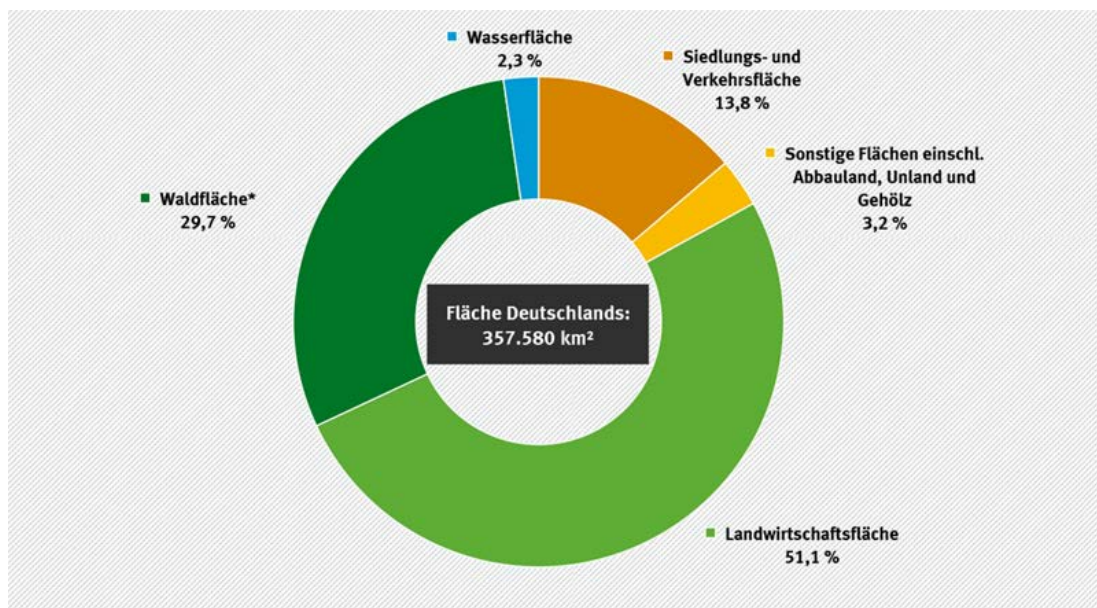


Abb. 1: Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2016); Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 3 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, R. 5.1, Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2016, Wiesbaden 2017

Allerdings sinkt dieser Anteil, während der Anteil von Siedlungs- und Verkehrsflächen stetig steigt. Eine nachhaltige Flächennutzung muss es sich daher zum Ziel setzen, den Flächenverbrauch durch Siedlungen und Verkehr zu senken. Gleichzeitig sollten bereits vorhandene Siedlungs- und Verkehrsflächen optimal genutzt und ökologisch aufgewertet werden (Statistisches Bundesamt, FS 3, R. 5.1, Wiesbaden 2017).

Von 2000 bis 2016 sank der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche um 8.391 km<sup>2</sup> von 53,5 auf 51,1 Prozent (%) der Gesamtfläche. Die deutlichste Abnahme erfolgte im Umland städtischer Verdichtungs-räume, aufgrund der Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen um 5.315 km<sup>2</sup>. Aber auch die Zunahme von Waldflächen ging zum Teil zulasten landwirtschaftlicher Flächen. Des Weiteren fällt ein Teil der Landwirtschaftsfläche jährlich dem Tagebau zum Opfer und kann erst Jahrzehnte später teilweise durch Rekultivierung zurückgewonnen werden (Statistisches Bundesamt, FS 3, R. 5.1, Wiesbaden 2017).

Die meisten landwirtschaftlich genutzten Flächenanteile haben die nördlichen und östlichen Bundesländer; Spitzenreiter ist Schleswig-Holstein mit einem Anteil von 68,9 % Landwirtschaftsfläche (Abbildung 2; Statistisches Bundesamt, FS 3, R. 5.1, Wiesbaden 2017).

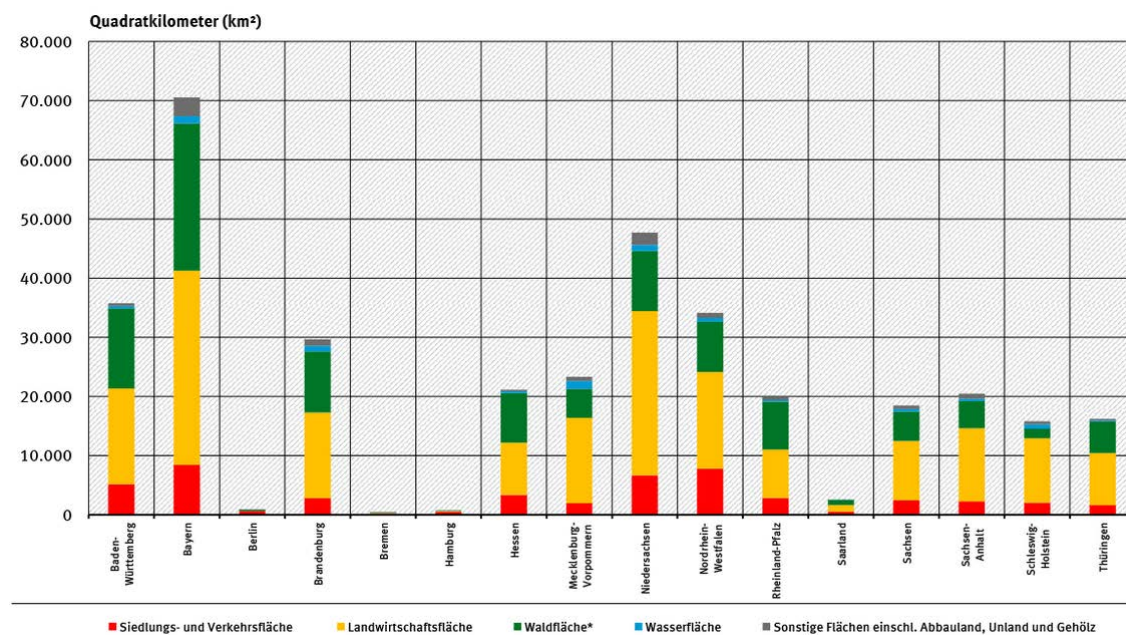


Abb. 2: Flächennutzung in den Bundesländern (Stand 31.12.2016); Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 3 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, R. 5.1, Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2016, Wiesbaden 2017

Insgesamt betrug der Flächenbedarf, der notwendig gewesen wäre, um alle in Deutschland konsumierten Nahrungsmittel anzubauen und herzustellen im Jahr 2015 etwa 19,4 Millionen Hektar. Es wurden jedoch nur 14,2 Millionen Hektar Fläche für den Anbau von Nahrungsmitteln genutzt. Bereinigt man diese Zahl zudem um diejenigen Flächen, die im Inland für die Produktion von Exportnahrungsmitteln verwendet wurden (7,2 Millionen Hektar), standen nur rund 7,0 Millionen Hektar für den inländischen Konsum zur Verfügung (Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2018).

Da die landwirtschaftlichen Flächenanteile an der Landfläche nur sehr begrenzt erweiterbar sind und in Deutschland sogar sinken, ist eine zukünftige Erhöhung der Flächenproduktivität zur Sicherung der

Ernährung unabdingbar. Eine nachhaltige Versorgungssicherheit kann daher nur gewährleistet werden, wenn die Leistungsfähigkeit agrarisch genutzter Böden dauerhaft erhalten wird. Gleichzeitig ist es notwendig, dass die vielfältigen weiteren Ökosystemdienstleistungen von Böden (Speichervermögen für Wasser, Kohlenstoff-speicherung, Biodiversität) erhalten bleiben. Doch leider sind Böden in der landwirtschaftlichen Produktion in vielerlei Hinsicht bedroht.

### Boden: Eine bedrohte, mittelfristig nicht erneuerbare Ressource

Zu den Bodenbeeinträchtigungen, die durch landwirtschaftliche Bodenbearbeitung entstehen können, zählen unter anderem Bodenverdichtung, der Verlust organischer Bodensubstanz, Erosion und der Verlust an Bodenbiodiversität (Abbildung 3).

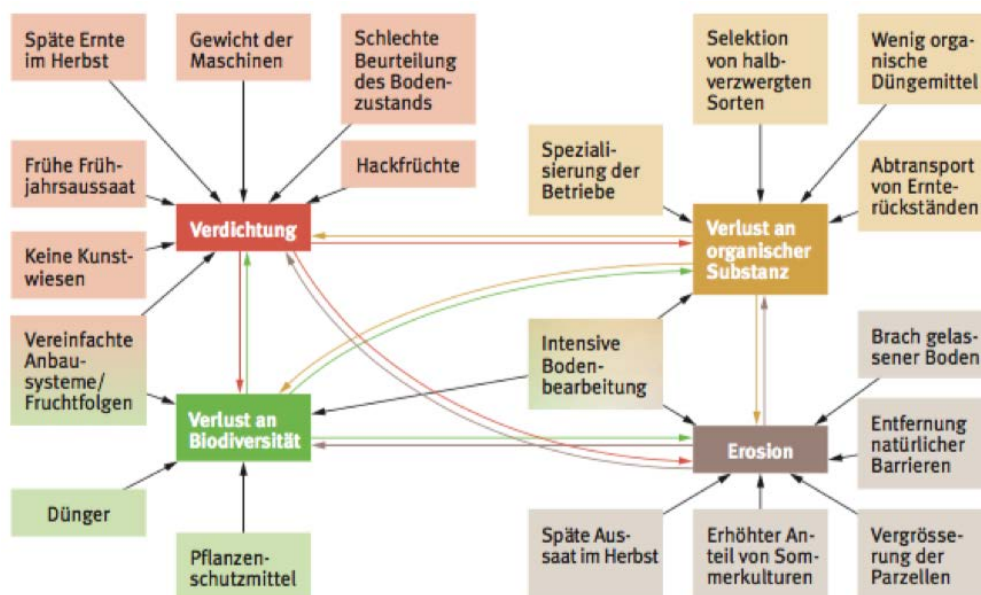


Abb. 3: Bodenverdichtung, Verlust organischer Bodensubstanz, Erosion und Verlust an Bodenbiodiversität als maßgebliche Bedrohung der Bodenfruchtbarkeit. Quelle: CH, NFP 68, Thematische Synthese 1, Boden und Nahrungsmittelproduktion.

Das Ziel einer modernen Bodenbearbeitung muss daher eine standortgerechte Landwirtschaft sein, die sich am Potenzial des Bodens orientiert und sich durch einen minimierten Einsatz von Hilfsstoffen und Maschineneinsatz auszeichnet.

### Die BMBF Förderinitiative BonaRes: Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie

Welche Strategien künftig für den Schutz und den Erhalt des Bodens als eine der wichtigsten Ressourcen der Landwirtschaft zum Einsatz kommen können, wird seit 2015 im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie – BonaRes“ erforscht (<https://www.bonares.de/home-de>). Im Folgenden ausgewählte Forschungsvorhaben dieses Projektverbundes vorgestellt und erst Ergebnisse zusammengefasst werden. Außerdem wird das kürzlich mit dem Norddeutschen Wissenschaftspreis ausgezeichnete Projekt „Neue Technologien für neue Herausforderungen der norddeutschen Landwirtschaft im Klimawandel“ vorgestellt, das sich mit mikrobiellen Schlüsselfunktionen am Interface Pflanze-Boden – der Rhizosphäre – bei zunehmendem Trockenstress und daraus resultierenden Veränderungen in den Stoffkreisläufen betroffener Agrarökosysteme beschäftigt.

**BonaRes: Das Projekt InnoSoilPhos - Innovative solutions to sustainable Soil Phosphorus management (Universität Rostock, Prof. Dr. Peter Leinweber)**

Das Projekt „InnoSoilPhos“ hat zum Ziel, die Bodenfruchtbarkeit im Hinblick auf das Hauptnährelement P zu optimieren und damit die Abhängigkeit von Mineraldünger-P zu verringern. Die P Nutzungseffizienz soll durch Entwicklung neuer Technologien und Produkte verbessert werden (<https://www.bonares.de/innosoilphos-de>).

Phosphor ist ein essentielles Element für alle Organismen, wobei Böden das zentrale Reservoir für die P-Aufnahme durch Mikroorganismen und landwirtschaftliche Nutzpflanzen sind. Während die moderne Landwirtschaft gegenwärtig vor allem auf der Ausbringung nicht erneuerbarer, mineralischer P-Dünger basiert, muss die Abhängigkeit von den endlichen P-Lagerstätten im Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft in Zukunft deutlich verringert werden. Dabei würde eine höhere P-Nutzungseffizienz auch zur Gewässerreinigung beitragen (<https://www.bonares.de/innosoilphos-de>).

Das Projekt „InnoSoilPhos“ erforscht alle Aspekte der P-Speziierung und des P-Kreislaufs im System Boden-Pflanzen-Umwelt, mit dem Ziel verbesserte Düngeempfehlungen, Empfehlungen zur Mobilisierung von P-Vorräten im Unterboden, Einsatzempfehlungen für innovative P-Recyclingdünger, neue Konzepte für „smarte“ P-Dünger mit Zusatzfunktionen sowie Empfehlungen für die politische Handlungsebene zu erarbeiten (<https://www.bonares.de/innosoilphos-de>).

Beispielsweise wird gerade der Einsatz von oberflächenmodifizierter Knochenkohle als alternativer P-Dünger untersucht. Phosphor liegt in herkömmlicher Knochenkohle vorwiegend als schwer lösliches Hydroxylapatit vor, daher ist diese kaum als P-Dünger geeignet. Mittels synchrotron-basierter XANES-Analysen konnte in der oberflächenmodifizierten Knochenkohle (S-angereicherte Knochenkohle mit verändertem pH-Wert) jedoch neben dem dominierenden Hydroxylapatit auch das leichter lösliche Kaliumhydrogenphosphat nachgewiesen werden (Zimmer et al. 2018; Abbildung 4).

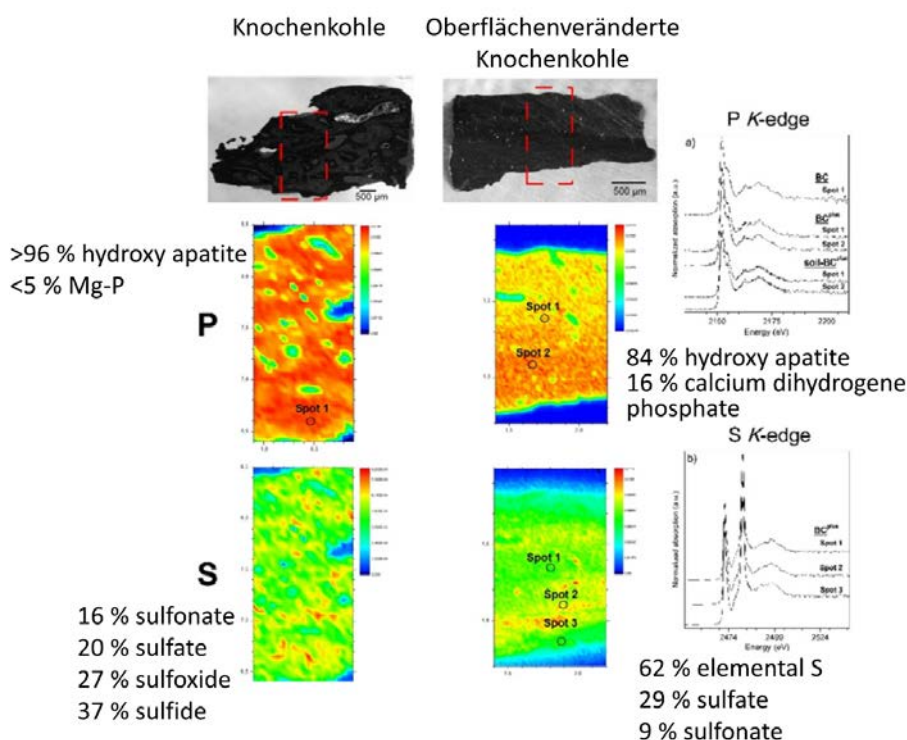


Abb. 4: P- und S-Speziierung

von Knochenkohle und oberflächenveränderter Knochenkohle. Quelle: Zimmer et al. (2018): Bone char vs. S-enriched bone char: Multi-method characterization of bone chars and their transformation in soil. Science of the Total Environment 643, 145–156.

Im Gefäßversuch konnten mit der oberflächenmodifizierten Knochenkohle außerdem höhere Biomasseerträge von Weidelgras (vergleichbar mit Tripelsuperphosphat) erzielt werden (Zimmer et al. 2018).

### **BonaRes: Das Projekt CATCHY - Zwischenfrüchte als agronomische Maßnahme zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Ertragssicherheit (Universität Bremen, Prof. Dr. Barbara Reinhold-Hurek)**

Das Hauptziel des Projektverbundes CATCHY ist es, Zwischenfrüchte zur Entwicklung innovativer Anbausysteme einzusetzen, die die Bodenfruchtbarkeit erhalten und verbessern. „Der Zwischenfruchtanbau ist eine wichtige Agrarumweltmaßnahme und trägt als langfristige Meliorationsmaßnahme zur Verbesserung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in Fruchtfolgesystemen sowie der komplexen Bodenfunktionen bei. Zwischenfrüchte haben einen positiven Einfluss auf chemische und physikalische Bodenparameter sowie einen multifaktoriellen positiven pflanzenbaulichen Einfluss auf die Fruchtfolgen. Während heute meist einzelne Zwischenfrüchte eingesetzt werden, sollen diverse Zwischenfruchtmischungen zu wissenschaftlichen Lösungsansätzen beitragen, um Anbaustrategien und Bodenmanagement zu optimieren“ (<https://www.bonares.de/catchy-de>). Die Ergebnisse sollen als Grundlage zur Weiterentwicklung optimierter Zwischenfruchtmischungen dienen.

Forschungsarbeiten zum Anbau von Zwischenfruchtmischungen konnten z.B. zeigen, dass die mikrobielle Aktivität im Boden mit zunehmender Artenvielfalt der Zwischenfruchtmischung ansteigt und bei der artenreichsten Mischung am höchsten ist (Abbildung 5).

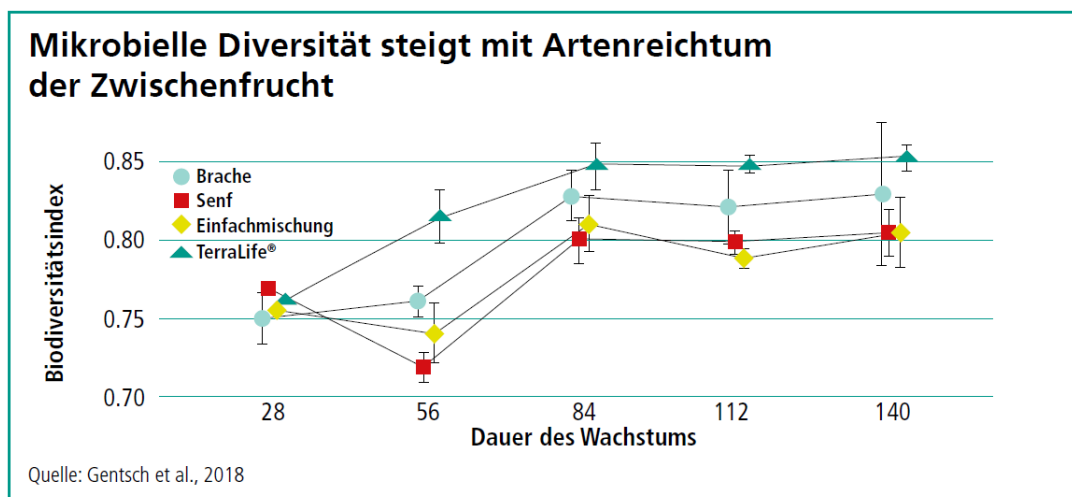


Abb. 5: Vergleich der mikrobiellen Diversität in Böden unter Einfachmischungen und arteneichen Zwischenfruchtmischungen. Quelle: Gentsch et al. (2018).

### **Die Forschergruppe "Crop Sequence and Nutrient Acquisition from the Subsoil" (DFG FOR 1320)**

Ziel dieser 2010 ins Leben gerufenen Forschergruppe ist es, Nährstofftransformationen und Nährstofftransportvorgänge im Unterboden landwirtschaftlich genutzter Flächen zu untersuchen. Dabei wird insbesondere die Bedeutung der Bioporenentwicklung, der Gefügedynamik, der mikrobieller Aktivität und der Wassertransportdynamik für diese Prozesse beschreiben und quantifiziert (<http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/135946177>).

Durch Wurzelwachstum und Regenwürmer entstandene Gänge, sog. Bioporen, gelten aufgrund des Eintrags organischer Substanz als „Hotspots“ mikrobieller Aktivität. Dadurch können Nährstoffe schneller mobilisiert werden. Weiterhin gelangen Wurzeln in Bioporen schneller in den Unterboden, welcher global als Kohlenstoffsene und Nährstoffquelle im organischen Landbau diskutiert wird. Ge-

rade in Trockenperioden ermöglicht ein schnelles Wachstum in den Unterboden die Erschließung zusätzlicher Wasserressourcen. Die Forschergruppe untersucht, ob der gezielte Anbau von Vorfrüchten mit Pfahlwurzeln dazu beitragen kann Bioporen zu erzeugen, die von Folgefrüchten erneut durchwurzelt werden können, um sich die genannten Vorteile zu Nutzen zu machen.

In früheren Untersuchungen konnte bereits nachgewiesen werden, dass Hauptfrüchte die Wurzelkanäle von Vorfrüchten nutzen. Es war bislang aber nicht möglich, die Bioporen-Nutzung zu quantifizieren. Daher wurde im Rahmen dieses Projektes ein neues Verfahren entwickelt, um die erneute Nutzung von bestehenden Bioporen durch Folgefrüchte zu quantifizieren (Banfield et al. 2017). Die neue Methode macht sich die unterschiedliche Zerfallsenergie der beiden Radionuklide  $^{14}\text{C}$  und  $^{137}\text{Cs}$  zunutze.

Wurzeln geben Photosynthese-Produkte über Rhizodeposition in den Wurzelraum ab. Nach  $^{14}\text{CO}_2$ -Markierung können  $^{14}\text{C}$ -Rhizodeposite über den  $\beta$  Zerfall visualisiert werden. Damit wird auch die Lokalisation der Wurzel sichtbar.  $\beta$  Strahler wie  $^{14}\text{C}$  mit verhältnismäßig geringen maximalen Zerfallsenergien können durch geschickt gewählte Abschirmung vollständig abgeschirmt werden, wobei aber ein großer Teil des  $\beta$  Zerfalls von Radionukliden mit höheren Zerfallsenergie-Maxima nicht abgeschirmt wird (etwa  $^{137}\text{Cs}$ ). Um die erneute Nutzung von Bioporen durch Hauptfrüchte zu quantifizieren, wurden daher die Wurzelsysteme der Vorfrüchte mittels  $^{137}\text{CsCl}$  über Blattaufnahme markiert. Nach Absterben der Wurzeln der Vorfrucht bleibt die  $^{137}\text{Cs}$  Markierung im Boden erhalten und der Wurzelkanal somit identifizierbar. Die Hauptfrucht wurde dann einer  $^{14}\text{CO}_2$  Atmosphäre ausgesetzt und gab das  $^{14}\text{C}$  ebenfalls über ihre Wurzelexsudate in den Boden ab. Anschließend wurde an Bodenschnitten Phosphor-Imaging durchgeführt: Ohne Abschirmung werden das  $^{14}\text{C}$ -Signal und das  $^{137}\text{Cs}$ -Signal gemeinsam visualisiert. In einem zweiten Schritt wurde dann das  $^{14}\text{C}$ -Signal abgeschirmt und nur das  $^{137}\text{Cs}$ -Signal sichtbar gemacht. Mittels Bildbearbeitung konnte anschließend das  $^{137}\text{Cs}$ -Signal vom Gesamt-Signal subtrahiert und somit die erneute Nutzung von Bioporen durch die Hauptfrucht quantifiziert werden (Abbildung 6; Banfield et al. 2017).

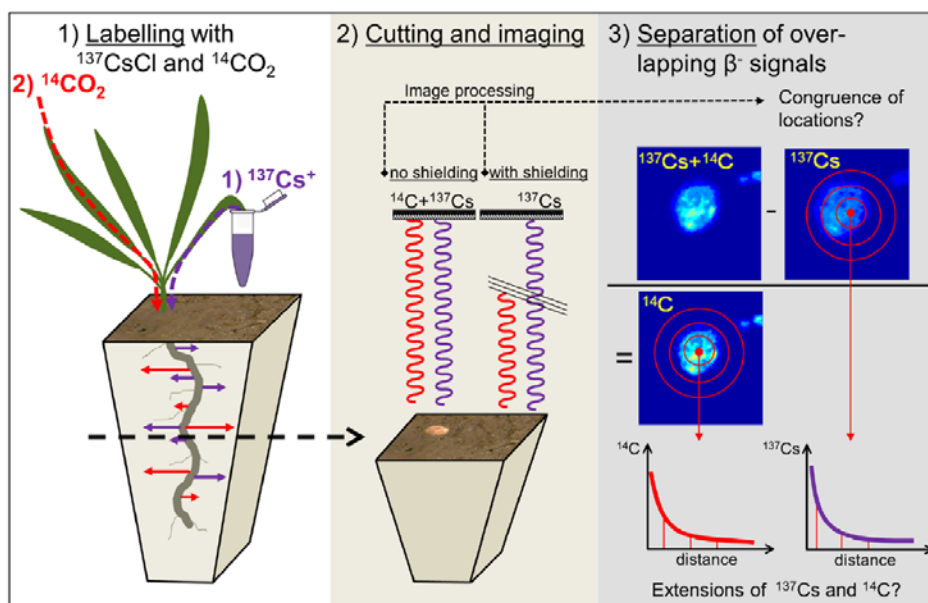


Abb. 6: Quantitative Bestimmung der Wiedernutzung von Wurzelbioporen (Banfield et al. (2017): Labelling plants in the Chernobyl way: A new  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{14}\text{C}$  foliar application approach to investigate rhizodeposition and biopore reuse. Plant and Soil 417, 301–315.



## Ausblick: Die Multi-Meta-Omic-Achse Kiel-Göttingen

Im letzten Abschnitt soll ein neues Projekt vorgestellt werden, das im November 2018 mit dem Norddeutschen Wissenschaftspreis ausgezeichnet wurde. Es widmet sich einem weiteren Faktor, dem die landwirtschaftlichen Böden in Zukunft ausgesetzt sein werden: Der steigenden Wahrscheinlichkeit von Sommertrockenheiten. Dies wird dazu führen, dass Wassermangel zunehmend zu einem limitierenden Faktor der landwirtschaftlichen Produktion im norddeutschen Raum werden wird. Die dadurch sinkende mikrobielle Aktivität der Böden reduziert die Nährstoffverfügbarkeit. Durch die reduzierten Mineralisationsraten in der Anbauphase erhöht sich der Vorrat an mineralisierbaren Nährstoffen im Boden, die bei Wiederbefeuchtung pulsartig ausgewaschen oder als Treibhausgase freigesetzt werden können. Dies kann zu einer Verschärfung der Nitratproblematik, einem Verlust organischer Bodensubstanz und damit langfristig zur Verminderung der Bodenfruchtbarkeit führen. Die zugrundeliegenden Prozesse sind alle mikrobieller Natur und unterliegen mikrobiellen Kontrollmechanismen.

Daher hat es sich das neue Forschungskonsortium zum Ziel gesetzt, die Disziplinen der mikrobiellen Ökologie und der Biogeochemie der Böden zusammenzubringen (Abbildung 7), um zentrale Zukunftsfragen der Landwirtschaft Norddeutschlands zu beantworten, nämlich:

- Welches Potential zur Kompensation von Trockenstress das Metagenom repräsentativer Agrarökosysteme Norddeutschlands birgt.
- Welche mikrobiellen Funktionen durch Trockenheit und nachfolgende Wiederbefeuchtung aktiviert bzw. deaktiviert werden und wie dies in veränderte biologische Funktionseinheiten umgesetzt wird.
- Und wie sich dadurch die mikrobiellen Stoffumsätze im Boden verändern.

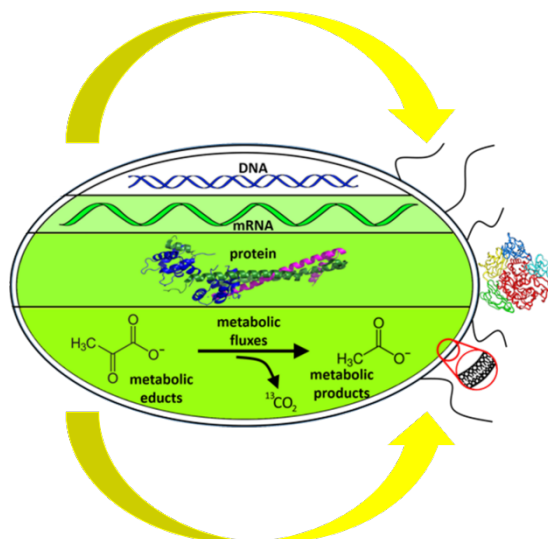


Abb. 7: Postgenomische Steuerungsebenen in mikrobiellen Zellen.

Letztendlich geht das neue Projekt damit der Frage nach, wie sich die veränderten mikrobiellen Funktionen langfristig auf die Stoffkreisläufe der charakteristischen Agrarökosysteme Norddeutschlands auswirken.

## Referenzen:

Banfield et al. (2017): Labelling plants in the Chernobyl way: A new  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{14}\text{C}$  foliar application approach to investigate rhizodeposition and biopore reuse. *Plant and Soil* 417, 301–315.

Charles et al. (2018): Boden und Nahrungsmittelproduktion. Thematische Synthese TS1 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68), Bern.

<https://www.bonares.de/home-de>

<https://www.bonares.de/innosoilphos-de>

<https://www.bonares.de/catchy-de>

<http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/135946177>

Statistisches Bundesamt (Hrsg.), FS 3 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, R. 5.1, Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2016, Wiesbaden 2017.

Umweltbundesamt (Hrsg.), Umwelt und Landwirtschaft, Dessau-Roßlau 2018

Zimmer et al. (2018): Bone char vs. S-enriched bone char: Multi-method characterization of bone chars and their transformation in soil. *Science of the Total Environment* 643, 145–156.

# Knicks – Holzertrag vs. Biodiversität, ein Widerspruch?

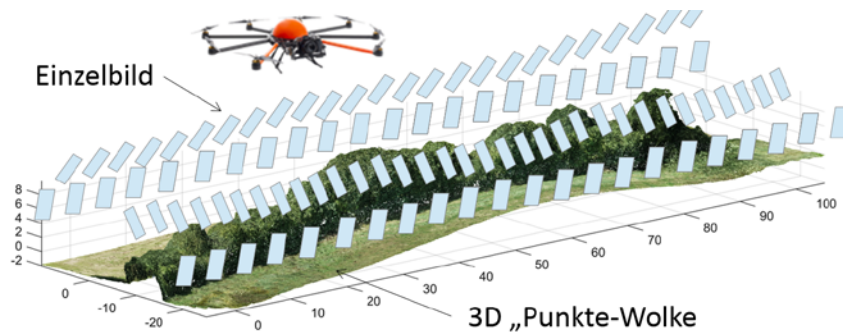
Eberhard Hartung, Stephan Lingner, Eiko Thiessen  
Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik,  
Christian-Albrechts- Universität zu Kiel

## Einleitung und Projektzielsetzung

Die Nutzung von Dauerkulturen in der Landwirtschaft wird zukünftig noch mehr an Bedeutung gewinnen. Sei es in ihrer Funktion als einzelne ökologische Ausgleichfläche (Greening), ihre Einbindung in Biotopverbünde, ihren Wert in und für die Kulturlandschaft, ihren Beitrag zur Verminderung von Bodenerosion durch Wind sowie ihren – noch weitgehend sehr ineffizient genutzten – Wert als nachhaltige Ressource regenerativer Energieträger. Um diese Ressource zur dezentralen betriebseigenen Energieversorgung insbesondere für kleine und mittlere landwirtschaftliche Betriebe nachhaltiger, effizienter und damit auch ökonomisch rentabel zu nutzen und wettbewerbsfähiger zu machen, ist es zwingend notwendig, Landwirten klare orts- und regionsspezifische Hinweise und Empfehlungen bzw. Beratung und Anleitung zur angepassten Bewirtschaftungsweise und zum Management zu geben. Hierbei ist sowohl das Wissen über den aktuellen Holzertrag als auch über den - in Abhängigkeit von Bewirtschaftung und möglichem Erntezeitpunkt - potentiell möglichen Holz- und Energieertrag ein Schüsselement. Aus diesen „Herausforderungen“ ergab sich die Hauptzielsetzung des dargestellten Forschungsprojektes: die Entwicklung einer innovativen, nicht-invasiven und mobilen Messmethode zur Abschätzung des Biomasse-/Holzertrages bzw. der Ertragspotentiale, welche sowohl bei (landwirtschaftlich genutzten) Knicks als auch bei Straßenbegleitgehölzen (SBG), d.h. bei linearen, räumlich begrenzten Gehölzstrukturen, universell eingesetzt werden kann.

## Material und Methoden

Die mobile (Flug-)Basis für das nicht-invasive Messsystem stellt ein Octocopter dar, welcher mit einer hochauflösenden Digitalkamera ausgestattet ist (Abb. 1). Die erhobenen „räumlich begrenzten linearen Gehölzstrukturen“ (Knicks und SBG-Flächen in Schleswig-Holstein) wurden i.d.R. zu mind. drei verschiedenen Zeitpunkten pro Jahr, d.h. in unbelaubten, teilweise belaubten und belaubten Zustand auf vorher selektierten Abschnitten überflogen. Pro Erhebung/Überfliegung lagen sich überlappende und jeweils exakt georeferenzierte Einzelbilder vor, aus denen die Zielobjekte in Form von 3D Punktwolken konstruiert werden können (SfM). Bei SfM bzw. Structure for Motion handelt es sich um eine Mehrbild-Photogrammetrie, bei der durch einen automatischen Prozess die räumliche Struktur von Objekten aufgrund korrespondierender Merkmale in Bildern erkannt wird (Abb. 1 und Abb. 2).



**Photogrammetrie** -> Bestimmung räumlicher Lage/ dreidimensionaler Form aus „genauen“ Einzelmessbildern:

- Kameraauflösung: 24 Megapixel
- Pixelgröße auf Boden: 6x6 mm
- Anzahl Bilder: ca. 600/100 m,
- Anzahl 3D Punkte: 1.000.000/100 m
- Überlappung der Einzelbilder: > 90 %
- Befliegung: 2 mal vor und 1 mal nach Knicken

Abb. 1: Übersicht Vorgehensweise bei Mehrbild-Photogrammetrie bzw. Structure for Motion (SfM)

### Mess-/Auswertemethoden

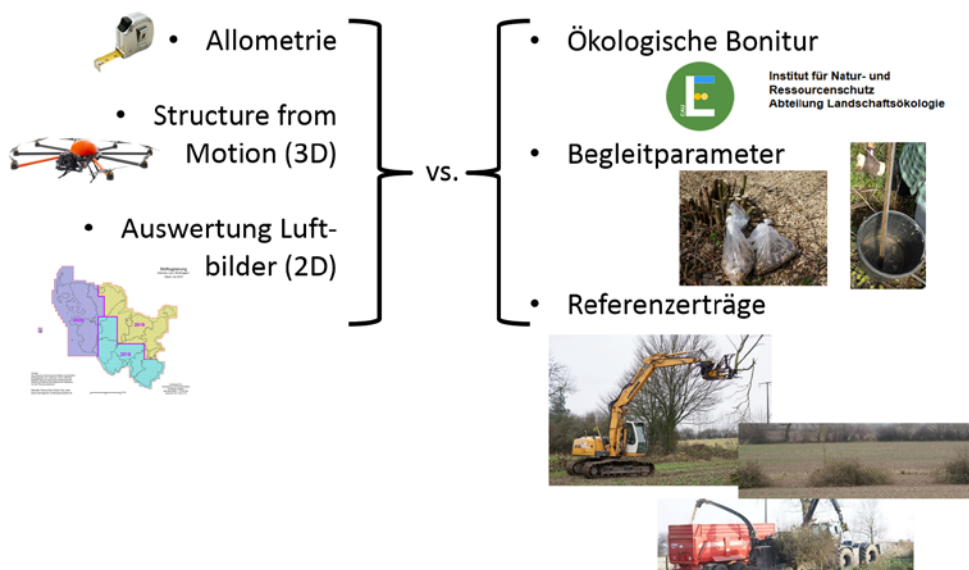
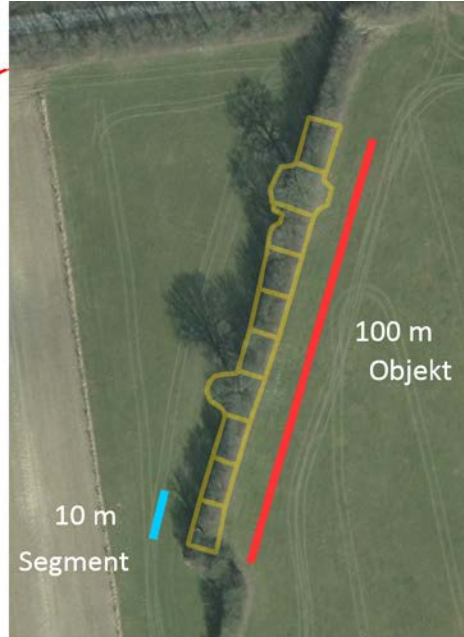
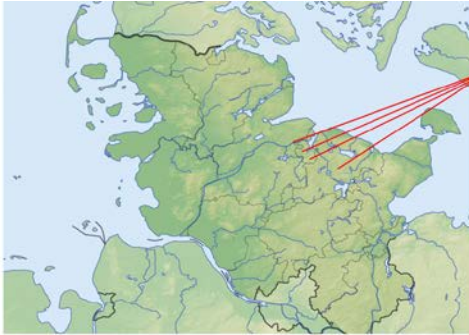


Abb. 2: Übersicht methodische Vorgehensweise

Die untersuchten Knicks/SBG - insgesamt 11 Objekte - wurden so selektiert, dass sie sich bzgl. ihrer (Himmels-)Ausrichtung, Breite, (Pflanzen-)Artenzusammensetzung und ihres zu erwartenden Biomasseertrags klar unterschieden (Abb. 3). Alle selektierten Gehölzstrukturen wurden in 10 m-Segmente aufgeteilt, um diese jeweils separat zunächst bzgl. ihrer Randbedingungen und Artenzusammensetzung zu erfassen (Abb. 4) und anschließend zur Ermittlung des Biomasse- bzw. Holz- und Energieertrags destruktiv zu beernten (Referenzertrag).



11 Objekte (100 m):

- 5 Knicks;
- 6 Straßenbegleitgehölze (SBG);
- je 10 Segmente (10 m).

Objektselektion u.a. bezüglich:

- Ausrichtung & Breite;
- Alter & Artenzusammensetzung;
- Überflieg- und Beerntbarkeit

Abb. 3: Untersuchte lineare Gehölzstrukturen

**Je Objekt a'100 m:**

- Knickbreite;
- Zeiligkeit;
- Höhenklassen;
- Saumbreite;
- Saumqualität;
- Altersklassen;
- Pflegemaßnahmen;
- Neophyten;
- (Gehölzqualität);
- (Saumqualität).

**Planung/Durchführung/Auswertung:**



**Institut für Natur- und  
Ressourcenschutz  
Abteilung Landschaftsökologie**

Abb. 4: Erfasste Parameter hinsichtlich „ökologischer Wertigkeit“

## Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Kink- und SBG-Flächen wiesen – wie in der Versuchsplanung gewünscht – eine große Heterogenität hinsichtlich Artenzusammensetzung (Abb. 5 und 6), Alter der Gehölze und deren flächenmäßiger Ausdehnung (Abb. 7) auf.



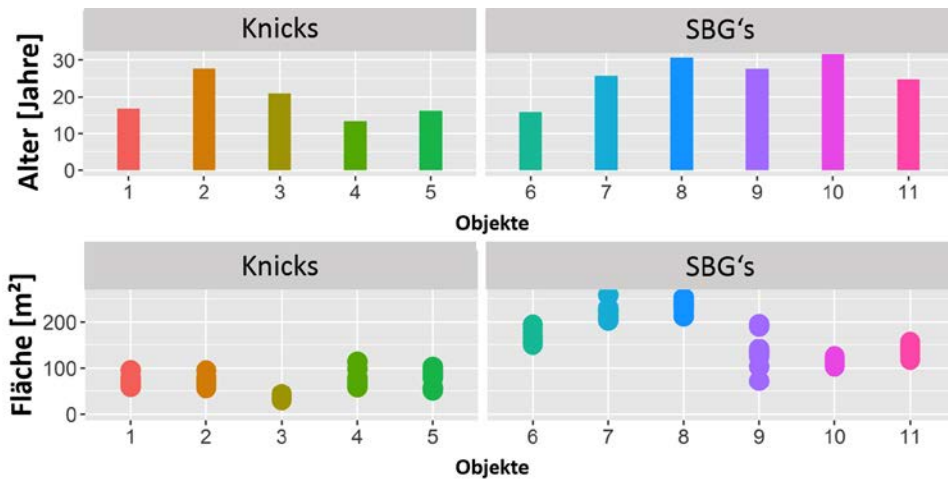


Abb. 7: Alter und flächenmäßige Ausdehnung der untersuchten linearen Gehölzstrukturen

Wie erwartet variierten die durch die Beerntung der Objekte ermittelten Holzmassen (Referenzmessungen) von ca. 500 bis 5.000 kg Trockenmasse pro 10 m-Segment (Abb. 8). Der Brennwert für unterschiedliche Gehölzarten (z.B. Buche, Eiche, Schlehe) lag – unerwarteter Weise – in einem insgesamt sehr ähnlichen Bereich und variierte auch für unterschiedliche Gehölzbestandteile (getrennt nach nur Holz- oder nur Rindenfraktion sowie für Holz und Rinde kombiniert) nur geringfügig voneinander (Abb. 8). Dies führt dazu, dass auch strauch- bzw. buschartige Gehölze wie z.B. Schlehen (mit einem relativ hohen Rindenanteil) nicht als so nachteilig für eine thermische Verwertung angesehen werden können, da auch der Aschegehalt der drei in Abb. 8 dargestellten Gehölze in einem sehr ähnlichen Bereich variierte. Der aus den durchgeführten Referenzmessungen berechnete durchschnittliche theoretische Holztertrag lag bei ca. 0,44 kg/m²a und ist damit vergleichbar mit Literaturangaben wie z.B.: 0,5 kg/m²a, Uckert 1997 und Walther & Bernarth 2009; 0,7 kg/m²a, Seidel et al. 2015.

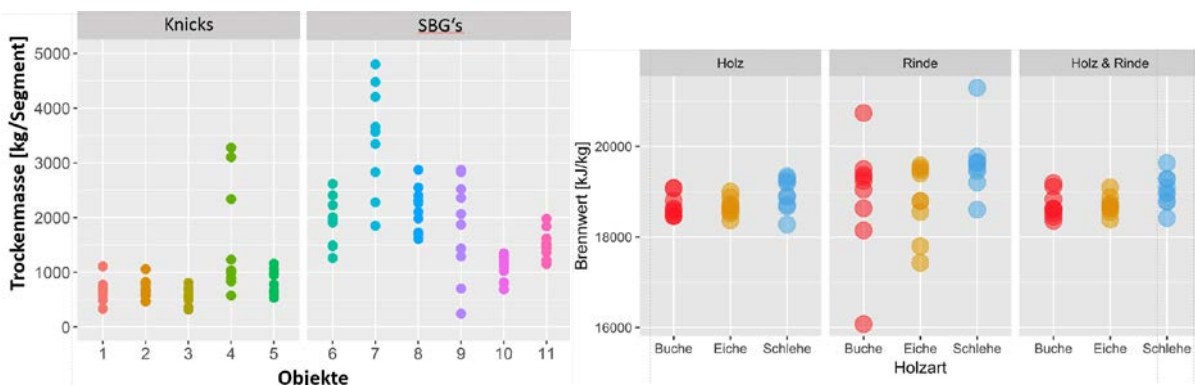
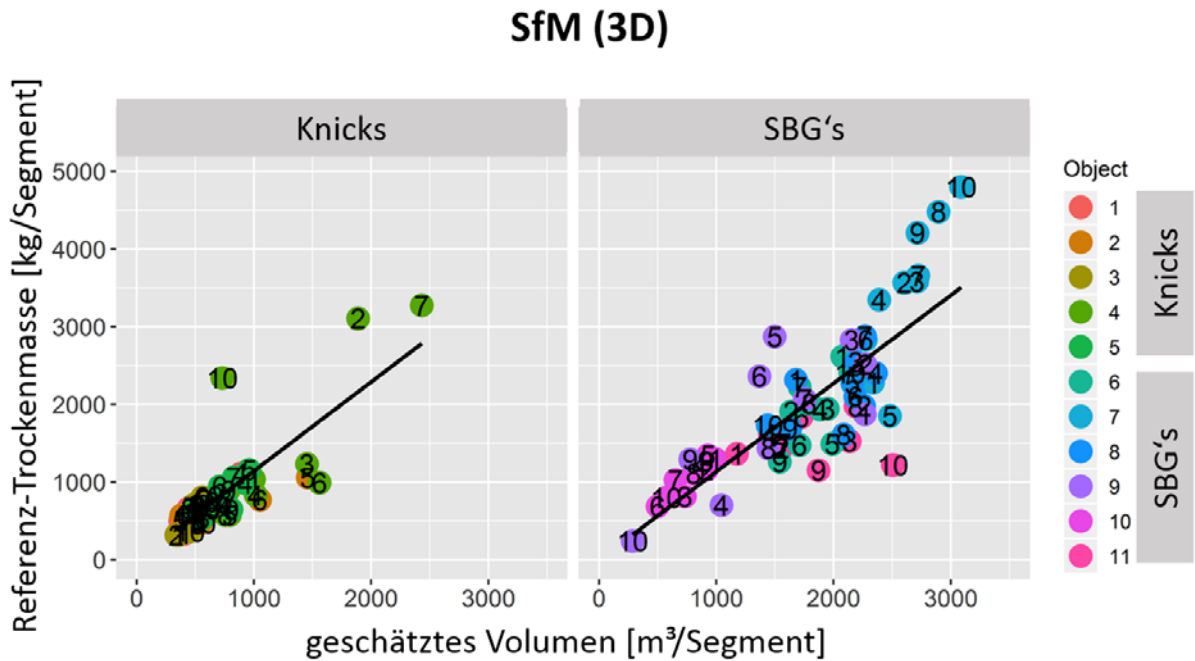


Abb. 8: Durch Beerntung ermittelte Referenz-Holzmasse (Bild links); Brennwerte unterschiedlicher Gehölzbestandteile für Buchen, Eichen und Schlehen (Bild rechts)

Was den Vergleich der drei angewendeten Untersuchungsmethoden nur Bestimmung/Abschätzung der Holzmasse (Allometrie, Luftbildauswertungen in 2D und

Structure from Motion in 3D; vgl. Abb. 2) angeht so zeigte sich, dass die manuelle alleometrische Erhebung einen unverhältnismäßigen Arbeitszeitaufwand benötigt, aber auch die höchste Genauigkeit

(rRMSE = 24%) erreicht. Die 3D SfM-Methode stellt - wie erwartet – einen guten Kompromiss zwischen benötigtem Arbeitszeitaufwand und ausreichender Genauigkeit (rRMSE = 32%) dar (Abb. 9)



$$\frac{\text{dry mass}}{\text{kg}} = 1,14 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\text{m}^3}$$

rRMSE: 32 %

Abb. 9: Korrelation zwischen Referenz-trockenmasse und dem durch SfM bzw. Structure for Motion geschätztes Gehölzvolumen pro untersuchtem Einzelsegment

Wird die durch die Untersuchungen ermittelte bzw. abgeschätzte ökologische Wertigkeit der sehr verschiedenen linearen Gehölzstrukturen von Knick- und SBG-Flächen in Beziehung zum ermittelten Holzertrag (kg Trockenmasse) und/oder zum kalkulierten jährlichem Wachstum gesetzt, so zeigen sich keinerlei eindeutige oder tendenziellen Korrelationen (Abb. 10). D.h. es konnte durch die Untersuchungen nicht bestätigt werden, dass eine hohe ökologische Wertigkeit einer untersuchten Gehölzfläche zwangsläufig einen (nur) niedrigen Ertrag/Brennwert bedingt, bzw. ein hoher Ertrag kann auch durch Gehölzstrukturen erreicht werden, die sich durch eine hohe ökologische Wertigkeit auszeichnen.



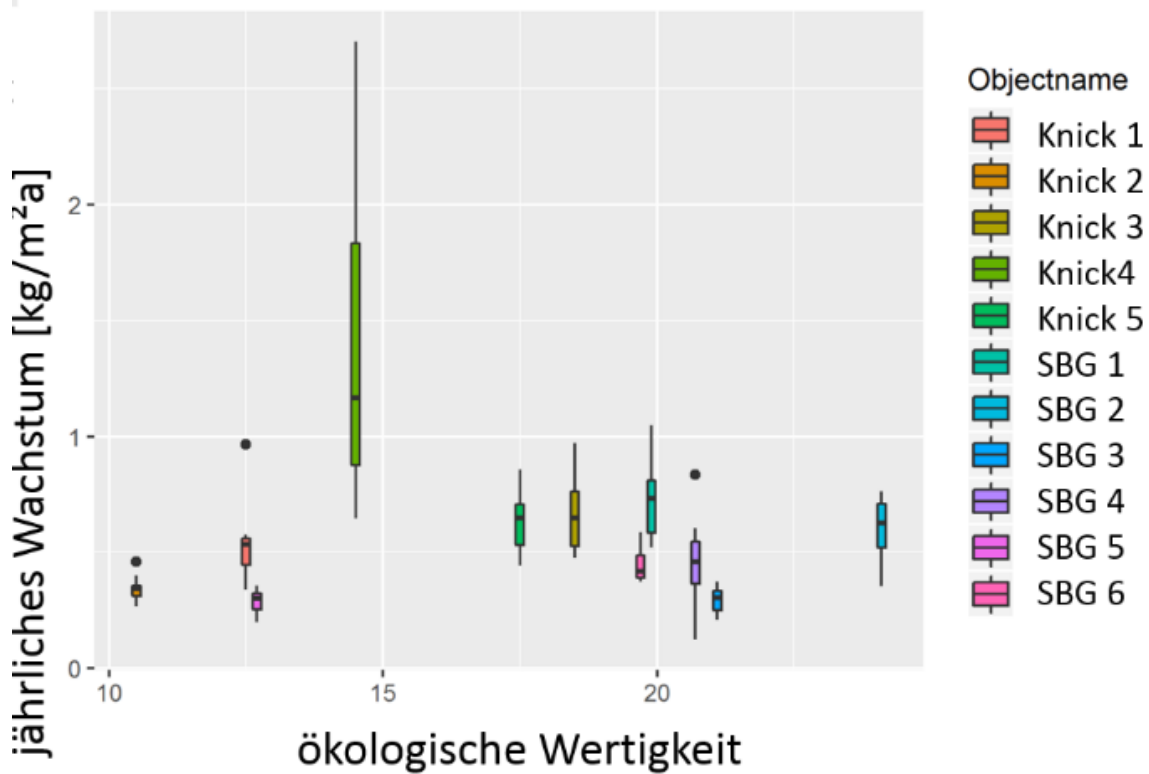
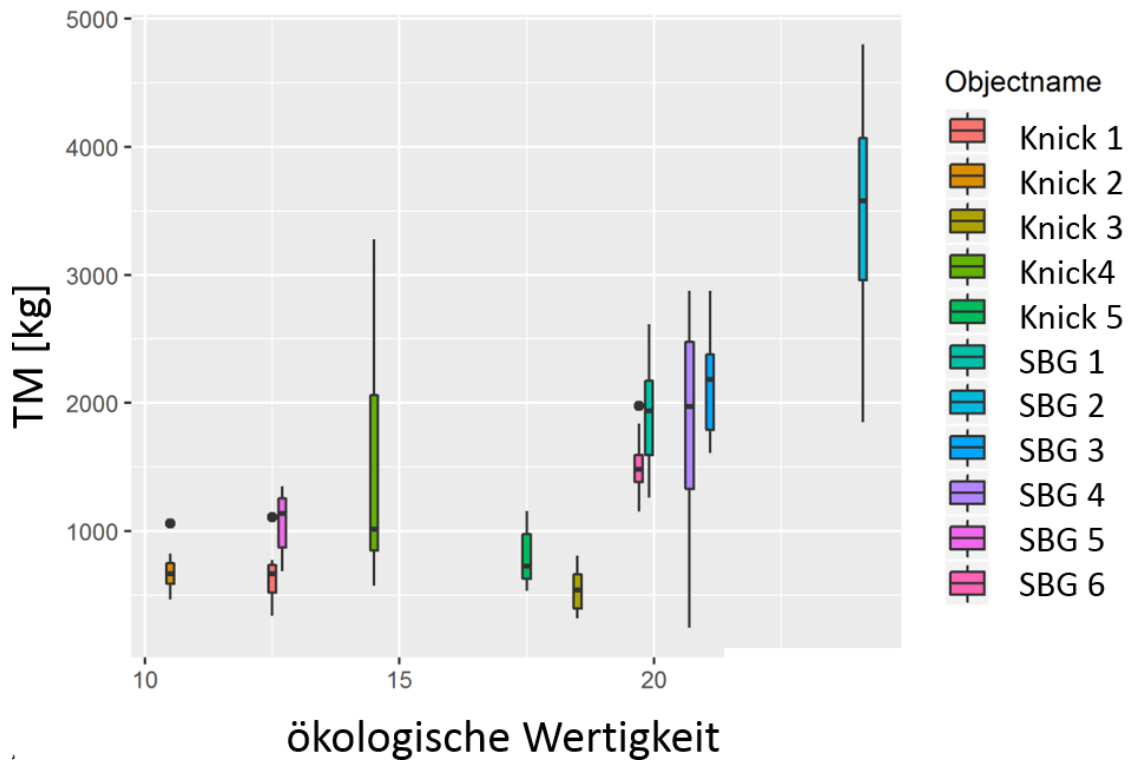


Abb. 10: Trockenmasseertrag bzw. jährliches Wachstum aller untersuchten linearen Gehölzstrukturen (Knick, und Straßenbegleitgehölze/SBG) in Beziehung gesetzt zur Höhe der jeweils abgeschätzten ökologischen Wertigkeit

## Bienenweide & Co: Zur Bedeutung von Agrarumweltprogrammen für die Biodiversität

Tim Diekötter  
Institut für Natur- und Ressourcenschutz,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Als Teil der Dreifelderwirtschaft, war die Brache über Jahrhunderte ein prägender Bestandteil der Agrarlandschaft. Mit Einführung der verbesserten Dreifelderwirtschaft im 18. Jahrhundert, verschwand die Brache weitestgehend aus der Landschaft und mit ihr ein Landschaftselement, das Ressourcen für viele Arten der Agrarlandschaft darbot (Poschlod 2015). Ein kurzzeitiges Wiederaufleben der Brache im Rahmen einer subventionierten freiwilligen fünfjährigen Flächenstilllegung von Mitte der achtziger bis neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts und eine konjunkturell obligatorischen Flächenstilllegung in den Jahren 1993 bis 2005 (Poschlod 2015), setzte dem mit der landwirtschaftlichen Industrialisierung seit Mitte des 20. Jahrhunderts zu verzeichnenden Rückgang der Landschaftsdiversität (Benton et al., 2003) nur kurzfristig etwas entgegen. Als Konsequenz des generellen Verlustes räumlicher und zeitlicher Heterogenität ist über die letzten sieben Jahre ein anhaltender Rückgang der Diversität so unterschiedlicher Gruppen wie der Pflanzen (Sutcliffe and Kay, 2000), Insekten (Sotherton and Self, 2000) und Vögel (Chamberlain et al., 2000) zu beobachten (Billeter et al. 2008). Mit der EG-Agrarreform wurde 1992 die Verordnung (EWG) 2078/92 „zur Förderung umweltgerechter und den natürlichen Lebensraum schützender landwirtschaftlicher Produktionsverfahren“ erlassen, auf deren Grundlage seit 1993 Agrarumweltprogramme in den deutschen Bundesländer mit dem beschriebenen Ziel aufgelegt wurden. Dabei stellt die geförderte Anlage von Ackerrandstreifen oder Blühflächen eine strukturell die Brache ersetzende Maßnahme mit potentiell positiver Wirkung auf die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft dar.

In einer Untersuchung im Landkreis Marburg-Biedenkopf zur Effektivität subventionierter Blühflächen in der Förderung blütenbesuchender Insekten konnten für die Jahre 2011 bis 2013 auf 33 Blühflächen in unterschiedlichem landschaftlichen Kontext insgesamt 117 Wildbienenarten, 99 Wespenarten und 77 Schwebfliegenarten nachgewiesen werden (Warzecha et al. in prep.; Hoffmann et al. in prep.). Steffan-Dewenter und Tscharncke (2001) konnten zeigen, dass Häufigkeit und Artenreichtum von Bienen auf fünfjährig stillgelegten Ackerflächen im zweiten Sukzessionsjahr am höchsten war und insbesondere mit der Anzahl verschiedener Pflanzenarten und nicht der Blütenpflanzendeckung korrelierte. Insbesondere die auf bestimmte Pflanzenfamilien spezialisierten oligolektischen Bienenarten waren im zweiten, pflanzlich diversesten, Sukzessionsjahr mit sehr vielen Arten vertreten. Die Gesamtartenzahl an Wildbienen in diesem Jahr erreichte dabei einen vergleichbaren Wert wie jene alter, pflanzlich sehr diverser und ressourcenreicher Streuobstwiesen und lag signifikant höher als in der Massentracht *Phacelia tanacetifolia* (Steffan-Dewenter & Tscharncke 2001). Auch Scheper und Kollegen (2013) konnten in einer Meta-Analyse zum Erfolg von Agrarumweltprogrammen in der Förderung blütenbesuchender Insekten zeigen, dass sowohl Individuen- als auch Artenzahl von der Anzahl gesäter Blütenpflanzen abhingen. In einem experimentellen Vergleich unterschiedlicher in Agrarumweltprogrammen zur Anwendung kommenden Blühmischungen konnte gezeigt werden, dass sich diese hinsichtlich ihrer Attraktivität innerhalb der Wildbienen und Schwebfliegen, aber auch zwischen diesen Gruppen unterscheiden (Warzecha et al. 2018). Dabei stellte sich heraus, dass 60 (81%) von 74 Arten und 778 (42%) von 1837 Individuen auf nur 4 Pflanzenarten aufgenommen wurden. Die nicht auf diesen Pflanzenarten beobachteten Bestäuberarten konnten auf zehn weiteren Pflanzenarten nachgewiesen werden. Vier (Weißer Gänsefuß, Stachellattich, Wasserpfeffer und *Lactuca spec.*) dieser vierzehn Pflanzenarten

waren nicht Teil der Saatmischung, sondern entstammten der Samenbank. Es bleibt allerdings zu bemerken, dass die meisten der beobachteten Blütenbesuchenden Insekten generalistische und eher mobile Arten waren. Für den Schutz seltener Arten, müssen artspezifische Aspekte des Ressourcenangebots in seiner räumlichen und zeitlichen Konfiguration berücksichtigt werden.

Neben Nektar und Pollen, stellen Blühflächen auch Ressourcen für Arten bereit, die ihre Nachkommen oder sich selbst mit tierischer Kost versorgen oder Samen fressen. So konnten wir zeigen, dass die Raupen eintragende Wespenart *Ancistrocerus nigricornis* weniger Zellen pro Neststandort aufzeigte, je weiter dieser von der nächsten Blühfläche entfernt lag (Hoffmann U. et al. 2018). Die Anzahl Beutestücke pro Zelle nahm signifikant mit dem Anteil naturnaher Habitate in der Landschaft ab, was vermutlich an einem höheren Raupengewicht in diesen Landschaften zusammen hängt. Als Nichtzielarten wurden in den im Landkreis Marburg-Biedenkopf untersuchten Blühflächen Laufkäfer untersucht, um festzustellen, wie sich ihre Gemeinschaft mit der Anlage einer Blühfläche auf Ackerflächen verändert. Insgesamt konnten im ersten und zweiten Jahr der Untersuchung 84 Arten gefangen werden. Während sich die Artenzahl zwischen dem Jahr der Anlage und dem Folgejahr der Blühfläche nicht unterschied, so konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender pflanzlicher Diversität auf der Fläche über die Zeit insbesondere mittelgroße, herbivore Arten zunahm, während kleine carnivore Arten abnahmen (Baulechner et al. 2018). Dadurch wich das deutliche zugunsten der carnivoren Arten verschobene Verhältnis im Anlagejahr (und damit dem Acker noch sehr ähnlichen Bedingungen) einem ausgeglichenen Verhältnis von carnivoren zu herbivoren Arten im Folgejahr. Die Anlage von Blühflächen scheint somit ein geeignetes Instrument, auch die strukturelle und funktionelle Diversität von Nichtzielarten in der Agrarlandschaft zu fördern.

Zur Einschätzung einer hohen Wertigkeit von Blühflächen in der Beförderung der Diversität von Insekten und Spinnen in der Agrarlandschaft trägt außerdem bei, dass laufende Untersuchungen zur Überwinterung bodenlebender Arthropoden mehr Laufkäfer-, Kurzflügelkäfer- und Spinnenarten in Blühflächen als in benachbarten Getreidefeldern und damit eine Bedeutung von Blühflächen nicht nur als Nahrungs-, sondern auch als Überwinterungshabitat, nachgewiesen haben (Hoffmann H. et al. in prep.).

Ob als Nahrungs-, Nist- oder Überwinterungshabitat, wichtig für die Wirksamkeit von Blühflächen ist ihre Einbindung im Landschaftskontext. So konnten Scheper et al. (2013) in ihrer Meta-Analyse zeigen, dass Effektstärken auf Häufigkeit und Artenzahl auf Blühflächen beobachteter Blütenbesuchender Wildbienen, Schwebfliegen und Schmetterlinge am höchsten sind, wenn diese Blühflächen in Landschaften mittlerer Strukturvielfalt, mit einem Anteil naturnaher Elemente von 1-20%, im Vergleich zu simplen (< 1%) oder komplexen (> 20%) Landschaften angelegt wurden. Laufende Untersuchungen zur Förderung der Wespensdiversität durch Blühflächen bestätigen die Bedeutung des Landschaftskontextes für die Wirksamkeit dieser Agrarumweltmaßnahme (Hoffmann U. et al. in prep.).

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Anlage von Blühflächen eine geeignete Maßnahme zur Förderung der Diversität nicht nur Blütenbesuchender Insekten, sondern auch bodenlebender Arthropoden sind, die keine originären Zielarten der Maßnahme darstellen. Ferner bleibt festzuhalten, dass Blühflächen in modernen, strukturreichen Agrarlandschaften nicht nur Nahrungsressourcen anbieten, sondern auch eine Funktion als Überwinterungshabitat übernehmen. Ziel zukünftiger Forschung ist es, die Wechselwirkungen transienter Blühflächen mit noch verbliebenen permanenten naturnahen Habitaten der Agrarlandschaft zu untersuchen und ihre Anlage im Raum sowie ihr Management so zu optimieren, dass sie eine positive Wirkung für möglichst viele Arten und Artengruppen und Ökosystemfunktionen entfalten.

## Referenzen:

Baulechner D, Diekötter T, Wolters V, Jauker F (2019) Converting arable land into flowering fields changes functional and phylogenetic community structure in ground beetles. *Biological Conservation* 231:51-58

Benton TG, Vickery JA, Wilson JD (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution* 18:182-188

Billetter R, Liira J, Bailey D, Bugter R, Arens P, Augenstein I, Aviron S, Baudry J, Bukacek R, Burel F, Cerny M, De Blust G, De Cock R, Diekötter T, Dietz H, Dirksen J, Dormann C, Durka W, Frenzel M, Hamersky R, Hendrickx F, Herzog F, Klotz S, Koolstra B, Lausch A, Le Coeur D, Maelfait JP, Opdam P, Roubalova M, Schermann A, Schermann N, Schmidt T, Schweiger O, Smulders MJM, Speelmans M, Simova P, Verboom J, van Wingerden W, Zobel M, Edwards PJ (2008) Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology* 45:141-150

Chamberlain DE, Fuller RJ, Bunce RGH, Duckworth JC, Shrubbs M (2000) Changes in the abundance of farmland birds in relation to the timing of agricultural intensification in England and Wales. *Journal of Applied Ecology* 37:771-788

Hoffmann US, Jauker F, Lanzen J, Warzecha D, Wolters V, Diekötter T (2018) Prey-dependent benefits of sown wildflower strips on solitary wasps in agroecosystems. *Insect Conservation and Diversity* 11:42-49

Poschlod P (2015) *Geschichte der Kulturlandschaft*. Ulmer

Scheper J, Holzschuh A, Kuussaari M, Potts SG, Rundlöf M, Smith HG, Kleijn D (2013) Environmental factors driving the effectiveness of European agri-environmental measures in mitigating pollinator loss – a meta-analysis. *Ecology Letters* 16:912-920

Sotherton NW, Self MJ (2000) Changes in plant and arthropod biodiversity on lowland farmland: an overview. In: Aebischer NJ et al. *The Ecology and Conservation of Lowland Farmland Birds*. BOU, Tring, pp. 26-35.

Sutcliffe OL, Kay QON (2000) Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biological Conservation* 93:1-8

Warzecha D, Diekötter T, Wolters V, Jauker F (2018) Attractiveness of wildflower mixtures for wild bees and hoverflies depends on some key plant species. *Insect Conservation and Diversity* 11:42-49

## Umweltschutzziele und Ökonomie als Treiber: Milchkühe zurück in die Ackerbauregionen?

F. Taube, R. Loges, S. Mues, C. Kluß, T. Reinsch, C. Malisch, H. Lorenz und A. Poyda  
 Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,  
 Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau,  
 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Die Intensivierung der europäischen Agrarproduktion der vergangenen Jahre ist insbesondere in der Tierhaltung von negativen ökologischen Externalitäten begleitet, die die Nachhaltigkeit und damit mittelfristig auch die gesellschaftliche Akzeptanz der derzeitigen spezialisierten Produktionssysteme in Ackerbau/Futterbau und Tierproduktion in Frage stellen. Auch und insbesondere in den schleswig-holsteinischen Zentren der Milcherzeugung auf den sandigen Böden der Geest und in den Niederungen (Moore) werden die Standards der guten fachlichen Praxis im Bereich der Düngung großflächig verfehlt (Taube *et al.*, 2016 – Nährstoffbericht S-H) mit der Konsequenz konstant hoher Nitratgehalte im oberflächennahen Grundwasser und ebenfalls hoher Nährstofffrachten (N, P) über die Fließgewässer des Landes vor allem in die Nordsee. Die Abbildung 1 zeigt dazu die N-Salden in den Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins für das Jahr 2010.

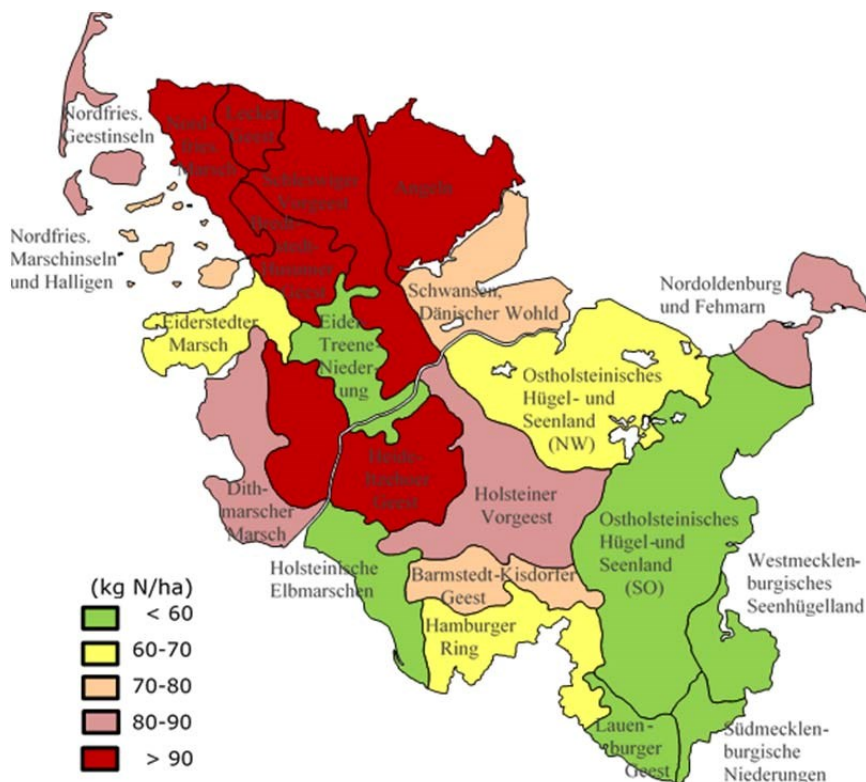


Abbildung 1. N-Salden nach DüV 2007 in den Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins für das Jahr 2010. (Taube et al 2016)

Die durch Landnutzung verursachte ökosystemare Belastungsgrenze im Landschaftsraum Geest kann somit als überschritten angesehen werden mit der Konsequenz, dass ein Mengenwachstum im Bereich Milcherzeugung im Lande mittelfristig nur über zwei Pfade denkbar sein dürfte: 1. Wachstum der Milchmenge auf der Geest und auf den Moorstandorten verbunden mit deutlich steigendem Export von tierischen Exkrementen (in aufbereiteter Form) in Ackerbauregionen oder 2. Ausdehnung der Milcherzeugung in Ackerbauregionen hinein. Beide Optionen sind deshalb zu diskutieren, weil a. die Nachfrage nach hoch veredelten Nahrungsmitteln tierischer Herkunft insbesondere für den Bereich Milch weiter überproportional vor allem im asiatischen Raum steigen dürfte (vgl. Thünen-Bericht 56, 2018) und weil b. die Konkurrenten auf den Export-Weltmärkten für veredelte Milchprodukte außerhalb der EU (Neuseeland, Australien) in ihrem Wachstumspotential begrenzt erscheinen. Für den Fall Neuseelands ist dies aus der Kombination von massiven Zunahmen an Umweltproblemen im letzten Jahrzehnt (Foote *et al.*, 2015) und einer seit 2017 erstmals sichtbaren Agrarumweltpolitik abzuleiten, die eine De-Intensivierung in den nächsten 20 Jahren nahelegt (Shadbolt & Apparo, 2016). Entsprechende

Anpassungsstrategien zeigen Pinxterhuis *et al.*, (2017) in Abb. 2.

	Current (2015/16)	Early cull	10% less cows
N surplus (kg N/ha; excl. N fixation)	215	126	122
N conversion efficiency (%)	39	52	53
N leached (kg N/ha)	61	49	53
compared with 2022 limit	+ 11	- 1	+ 3
Operating expenses (\$/kg MS)	3.91	3.98	3.95
Operating profit (\$/ha)*	5,578	5,275	5,289
		- 5%	- 5%

\* Milk price \$6/kg MS

Pinxterhuis *et al.* 2017, SIDE

Abbildung 2: Kennzahlen der Stickstoffeffizienz und Leistung des Milchsektors in NZ in Abhängigkeit verschiedener De-Intensivierungsstrategien (early cull = vorzeitiger Abgang leistungsschwacher Kühe; 10% less cows: Abstockung der Herden um 10%)

Für den Fall Australien ist dies nach zwei jeweils mehrjährigen Dürreperioden innerhalb von 12 Jahren aufgrund erheblich zunehmender Probleme bezüglich zu geringer Wasserverfügbarkeit absehbar. Da die Zunahme der Milcherzeugung dort im letzten Jahrzehnt vornehmlich auf Beregungsfutterbau beruht, bei begrenzten Wasserrechten für die Betriebe jedoch die Milcherzeugung auf den Wassermärkten ökonomisch gegenüber gärtnerischen Kulturen, Wein und Baumwolle ins Hintertreffen gerät, wird dort von einer deutlichen Abschwächung des Milchmengenwachses ausgegangen. Mit anderen Worten: Wenn diese groben Trends nicht durch anderweitige Verwerfungen maskiert werden, gibt es für eine bezüglich des ökologischen Fußabdrucks verbesserte europäische Milcherzeugung erhebliche Potentiale. Hinsichtlich der Umsetzung der damit verbundenen notwendigen ‚ökologischen Intensivierung‘ in Schleswig-Holstein ist auf die bereits oben genannten Optionen zurückzukommen:

## 1. Wachstum der Milchmengen in den derzeitigen Milchviehregionen:

Würde der Staat die bestehenden Gesetze und Verordnungen im Bereich des Düngerechts umsetzen, müssten schon heute deutlich mehr Exporte von Gülle und Gärresten aus den Zentren heraus in die Ackerbauregionen erfolgen. Eine weitere Intensivierung dort würde zusätzliche Futterimporte und Gülleexporte notwendig machen. Bei den derzeitigen Kosten für Transport und Aufbereitung erscheint dieser Pfad nur begrenzte Potentiale auszuweisen. Dies umso mehr als die EU-Ziele zur Reduktion von THG-Emissionen deutlich gegen die Moornutzung auch nur in der heutigen Intensität sprechen, da insbesondere die intensiv genutzten Niedermoore in der Eider-Treene-Sorge-Niederung hot-spots der Treibhausgasemissionen darstellen (Poyda *et al.*, 2016) und so bei Aufrechterhaltung dieser Intensitäten den ‚Carbonfootprint‘ der schleswig-holsteinischen Milcherzeugung erheblich negativ belasten (Reinsch *et al.*, 2018). Die Abbildung 3 zeigt den Anfall an organischen Düngern in den Landkreisen Schleswig-Holsteins nach der DüV 2007 und der DüV 2017. Da tatsächlich davon auszugehen ist, dass die effektiv zur Verfügung stehende Fläche für eine Ausbringung von 170 kg ‚Gülle-N je ha zwischen 70 und 80% der LF liegen dürfte, beträgt der notwendige Gülleexport über Kreisgrenzen hinweg zwischen 1 und 2,5 Mio Tonnen Gülle/Gärrest im Jahr. Derzeit ist an Hand der Daten der Güllerbörse in S-H nicht erkennbar, dass diese Mengen tatsächlich aus dem Norden des Landes abtransportiert werden.

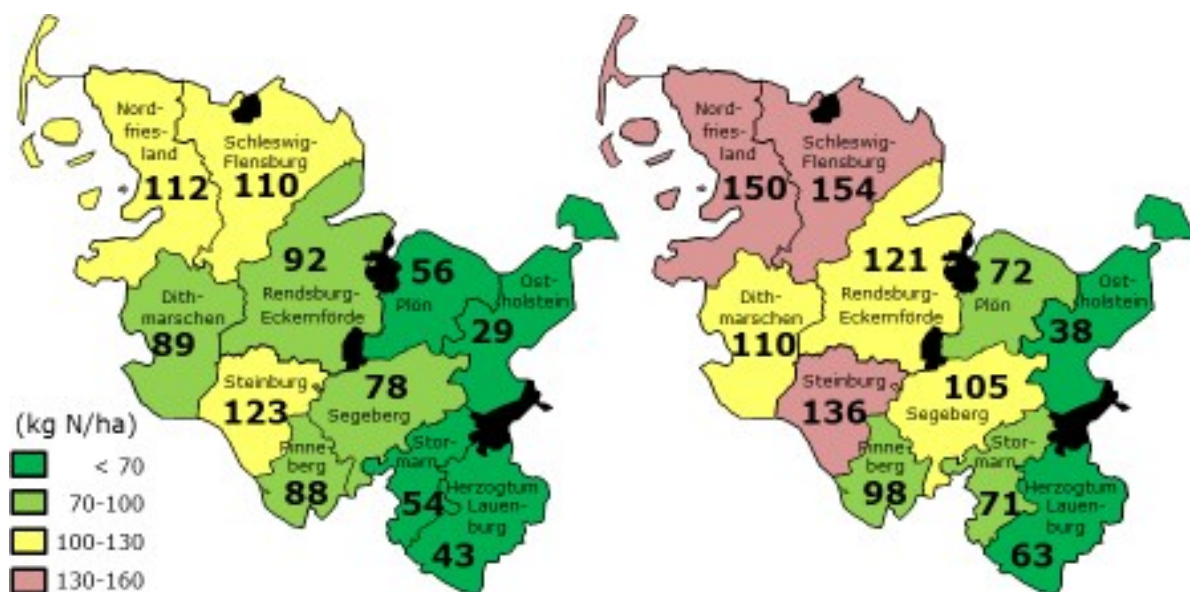


Abbildung 3. Anfall an organischen Düngern in den Landkreisen Schleswig-Holsteins nach der DüV 2007 und der DüV 2017 (Taube et al 2016)

## 2. Wachstum der Milcherzeugung in den Ackerbauregionen des Landes:

Zusätzliches Wachstum der Milcherzeugung und damit des Futterbaus auf den besseren Böden des Ackerbaus scheint zunächst mit einem primären Nachhaltigkeitsziel zu kollidieren, nämlich dem Anspruch, bei weltweit knappen Agrarflächen, die Milcherzeugung primär auf solche Flächen zu konzentrieren, die nicht in Flächenkonkurrenz zur direkten Humanernährung (Weizen; Reis, Raps, etc.) stehen, also die absoluten Grünlandstandorte zu präferieren. Wenn dennoch gewisses Wachstum im Sinne der landwirtschaftlichen Wertschöpfung in dieser ‚Ackerbaukulisse‘ zur Diskussion gestellt wird, dann sind

im Sinne der ökologischen Intensivierung verschiedene Aspekte zu berücksichtigen: Zum einen ist sicher zu stellen, dass das Maß der Tierhaltung in dieser Kulisse nicht ein Niveau erreicht, das ähnliche ökologische Probleme verursacht wie sie aktuell in den Milchzentren zu konstatieren sind. Als Richtschnur kann hier der Anfall an organischen N-Düngern/ha angesehen werden, der etwa ein Niveau von 120 kg N/ha nicht überschreiten sollte (vgl. VDLUFA, 2012). Zum anderen ist es eine zentrale Voraussetzung im Sinne der ökologischen Intensivierung, zu zeigen, dass der Marktfruchtackerbau durch die Kombination mit Futterbau in der Fruchtfolge ‚besser‘ wird als derzeit und so ein bestimmtes Maß der Zunahme an Milchvieh-Futterbausystemen auch vor dem Hintergrund der Flächenkonkurrenz rechtfertigt. Was ist nun unter ‚besser‘ zu verstehen? ‚Besser‘ kann im Sinne von ‚resilienter‘ interpretiert werden (vgl. Taube, 2017), wobei Resilienz in diesem Fall die Pufferfähigkeit eines Systems gegenüber Störungen beschreibt. Diese ‚Störungen‘ können biotischer (z.B. Fruchtfolgekrankheiten), abiotischer (Wetterextreme) oder ökonomischer (volatile Preise), ja selbst politischer (Verbot oder eingeschränkter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln) Natur sein. Werden die aktuellen spezialisierten Marktfruchtsysteme in diesem Sinne kritisch hinterfragt, so sind sie (ähnlich wie spezialisierte Futterbausysteme) durch begrenzte Resilienz gekennzeichnet. Das betrifft beispielsweise die mangelnde Umsetzung von züchterischem Ertragsfortschritt, die weder bei Getreide noch bei Raps in den letzten 20 Jahren in der Breite gelungen ist und das betrifft zunehmende Probleme im Bereich der Krankheiten von Kulturpflanzen und massiver Zunahme von Problemunkräutern aufgrund zu einseitiger Fruchtfolgen und schließlich betrifft das auch eine häufig unbefriedigende Stickstoffnutzungseffizienz und hohe Nitratfrachten unterhalb der Wurzelzone, die nur deshalb (noch) nicht im Grundwasser sichtbar werden, weil die Denitrifikationspotentiale im Unterboden noch nicht erschöpft sind.

Derzeit prüfen wir mit einer Reihe von Partnern im Rahmen unseres Forschungsprojektes ‚Ökoeffiziente Weidemilcherzeugung Lindhof‘ die Hypothese, dass viele der beschriebenen Probleme des intensiven Marktfruchtbaus durch eingeschobene zwei- bis mehrjährige Ackerfutterbausysteme im Sinne einer ökologischen Intensivierung einer resilienten Lösung zugeführt werden können (hohe N-Fixierungsraten durch tief wurzelnde Futterleguminosen in Kombination mit Futterkräutern führt auch zu erhöhten Kohlenstoffeinträgen in den Unterboden verbunden mit hohen Vorfruchtwerten für die Folgekultur (N-Nachlieferung, Bodenstruktur, Biodiversität der Bodenorganismen, Reduktion der Problematik von Problemunkräutern durch Bodenruhe), ebenso wie eine Reduktion der Nährstoffausträge und eine Erhöhung der Nährstoffnutzungseffizienz, sowie schließlich positive Beiträge zu günstigeren Habitatstrukturen für pflanzliche und tierische Organismen in Agrarlandschaften.

Beim Blick in die Literatur zeigt sich vielfach, dass insbesondere unter Bedingungen, die durch häufige Extreme wie Trockenperioden und volatile Preise gekennzeichnet sind, eine Risikostreuung durch Gemischtbetriebssysteme, die eine organisatorische, räumliche und zeitliche Dimension der Rotation einbeziehen (wie auch immer organisiert) ökonomisch sinnvoll ist (vgl. Bell & Moore, 2012). Aber auch unter mitteleuropäischen Bedingungen werden Gemischtbetriebe (als Synonym für weite Fruchtfolgen mit Marktfrucht und Futterbau) als Strategie zur Verbesserung der Nachhaltigkeit betrachtet (vgl. Ryschway *et al.*, 2012).

Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2016 das Forschungsprojekt ‚Ökoeffiziente Weidemilcherzeugung‘ auf dem Versuchsgut Lindhof der CAU gestartet. Ausgehend von einem extensiven Ackerbau mit Ferkelerzeugung/Mutterkuhhaltung im Ökolandbau mit 0,3 GV/ha, wurde auf ein ‚low input‘ Weidemilchsystem nach irischem Vorbild umgestellt. Ein Grund für diese langfristig vorbereitete Umstellung war der, dass ökologischer Landbau mit nur marginaler Viehhaltung langfristig unter den klimatischen Bedingungen Norddeutschlands kaum resilient ist, weil zum einen die Erträge auch innerhalb des ökologischen Landbaus vergleichsweise niedrig ausfallen und weil das zweijährige Klee gras im Ackerbau, das zur Unkrautkontrolle notwendig ist, kaum ökonomisch darstellbar verwertet werden kann. Es bot sich somit an, entweder über einen Kooperationsvertrag mit einem Milcherzeuger einen ‚virtuellen



Gemischtbetrieb' zu organisieren oder den Betrieb selbst wieder als Gemischtbetrieb mit Milcherzeugung zu etablieren. Da sich die erste Option aus räumlichen Gründen nicht anbot, entschieden wir uns für den zweiten Weg. Das Konzept der Milcherzeugung ist komplementär zum Versuchsbetrieb Karkendamm ausgerichtet: Blockabkalbung mit einer für Weidegang prädestinierten Rasse (~ 100 Jerseykühe), Weidegang von Februar (stundenweise) bis November (Vollweide vom ~20.04. bis 30.10.) bei Maximierung der Milchleistung aus dem Weidefutter. Nutzung von zwei- bis dreijährigen Ackerfütterbaubeständen unterschiedlicher botanischer Diversität mit maximalen Energiedichten und N-Fixierungsleistungen, die über die pflanzlichen Residuen - neben der Applikation von Gülle - auch als Vorfruchtwert von den folgenden zwei Marktfrüchten (Getreide) genutzt werden. Als Resultat dieses Ansatzes werden nicht nur Milch und pflanzliche Erzeugnisse (aus dem Ackerbauteil) geliefert, sondern damit verbunden bei einem Viehbesatz von ~0,8 GV/ha weit überdurchschnittliche Ökosystemdienstleistungen im Hinblick auf Klimaschutz, Wasserschutz und Biodiversität. Wir messen diese Zusatzleistungen umfänglich und gehen davon aus, dass das Maß dieser Zusatzleistungen ein Baustein für eine zukünftige Ausgestaltung der GAP nach 2020 sein kann in der Weise, wie das der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik (WBAE, 2017) beim BMEL empfohlen hat. Wir haben dazu das Konzept einer Gemeinwohlprämie (Neumann et al., 2017) entwickelt und auf Praxistauglichkeit geprüft. Konkret haben wir auf dem Lindhof in den letzten beiden Jahren ein umfängliches Forschungsprogramm zur Erfassung der Stoffströme etabliert und sind dabei in internationale Verbünde (EU Suscatt; EU-Baltic Slurry) wie nationale Konsortien (z.B. Studienstiftung Villigst: ‚Dritte Wege zur Ernährung der Einen Welt‘) eingebunden. Ein wesentliches Ziel ist es weiterhin, die Flächennutzungseffizienz des low-input Ansatzes relativ nicht unter 20-25% des Niveaus des jeweils spezialisierten konventionellen Bereichs (Milchvieh/Marktfrucht) absinken zu lassen und gleichzeitig die Ökoeffizienz entsprechend zu steigern. Die Ergebnisse der ersten drei Laktationen deuten darauf hin, dass dies möglich ist. So werden einerseits

Milchleistung je ha Futterfläche erzielt, die etwa einem Niveau von 80% des Durchschnitts der konventionellen Beratungsbetriebe entsprechen, während andererseits der N-Bruttohoftorüberschuss je ha nur etwa 30% der Vergleichsgruppe ausmacht, d.h. die Ökoeffizienz im Sinne eines reduzierten N-Überschusses je Produkteinheit ist sehr günstig zu beurteilen. Gleiches gilt für den ‚Carbon Footprint Milch‘, wie wir kürzlich mittels einer Meta-Analyse zeigen konnten (Lorenz et al., 2019).

Als Fazit lässt sich zusammenfassen, dass eine Ökologisierung der landwirtschaftlichen Erzeugung hin zu einem Denken in Kreisläufen das Denken in Gemischtbetriebskategorien nahelegt – so, wie dies wörtlich beispielsweise gerade von der niederländischen Landwirtschaftsministerin als neues Paradigma formuliert wurde. Die Vorteile in Verbindung mit Gemeinwohlleistungen sind evident und die verbindlich fixierten Umweltziele bis zum Jahre 2050 werden gleichermaßen die derzeitigen Spezialisierungen und die intensive Nutzung der Moore zur Milcherzeugung in Frage stellen.

## Referenzen:

- Bell LW & Moore AD 2012. Integrated Crop–Livestock Systems in Australian Agriculture: Trends, Drivers and Implications. *Agricultural Systems* 111: 1–12. <https://doi.org/10/f37mpv>.
- Chapman D, Macdonald K, Glassey C, Pinxterhuis I, Edwards P, Beukes P 2018. Relationships between Nitrogen Inputs, Outputs in Product, and Surpluses in New Zealand Dairy Systems. Australasian Dairy Science Symposium (ADSS)
- Foote, K J., Joy MK, Death RG 2015. New Zealand Dairy Farming: Milking Our Environment for All Its Worth. *Environmental Management* 56: 709–20. <https://doi.org/10/f7m693>.
- Lorenz H, Reinsch T, Hess S, Taube F 2019. Is Low-Input Dairy Farming More Climate Friendly? A Meta-Analysis of the Carbon Footprints of Different Production Systems. *Journal of Cleaner Production* 211: 161–70. <https://doi.org/10/gfx3b>.
- Neumann H, Dierking U, Taube F 2017. Erprobung und Evaluierung eines neuen Verfahrens für die Bewertung und finanzielle Honorierung der Biodiversitäts-, Klima- und Wasserschutzleistungen landwirtschaftlicher Betriebe („Gemeinwohlprämie“). Berichte über Landwirtschaft 95, <https://doi.org/10.12767/buel.v95i3.174>
- Pinxterhuis I, Coltman T, Edwards P, Parker L 2017. Achieving the required N leaching reductions on dairy farms in the Selwyn Area, Canterbury – A real-life example. pp. 68-79. In: Proceedings South Island Dairy Event 2017. <https://side.org.nz/wp-content/uploads/2017/06/2.3-Achieving-the-required-Nleaching-reductions-Ina-Pinxterhuis.pdf>
- Poyda A, Reinsch T, Skinner RH, Kluß C, Loges R, Taube F 2017. Comparing chamber and eddy covariance based net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of fen soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* <https://doi.org/10.1002/jpln.201600447>
- Reinsch T, Loges R, Kluß C, Taube F 2018a. Renovation and Conversion of Permanent Grass-Clover Swards to Pasture or Crops: Effects on Annual N<sub>2</sub>O Emissions in the Year after Ploughing. *Soil and Tillage Research* 175: 119–29. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.009>.
- Reinsch T, Loges R, Kluß C, Taube F 2018b. Effect of Grassland Ploughing and Reseeding on CO<sub>2</sub> Emissions and Soil Carbon Stocks. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265: 374–83. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.020>.
- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A, Gibon A 2012. Mixed Crop-Livestock Systems: An Economic and Environmental-Friendly Way of Farming? *Animal* 6: 1722–30. <https://doi.org/10/f39z4d>.
- Shadbolt M & Apparo D 2016. Factors Influencing the Dairy Trade from New Zealand. *International Food and Agribusiness Management Review*, 19: 241–255. [http://ifama.org/resources/Documents/v19ib/14\\_Shadbolt.pdf](http://ifama.org/resources/Documents/v19ib/14_Shadbolt.pdf)
- Taube F, Henning C, Albrecht E, Reinsch T, Kluß C 2016. Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. Im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. [https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/W/wasserrahmenrichtlinie/naehrstoffbericht\\_sh\\_taubef.pdf](https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/W/wasserrahmenrichtlinie/naehrstoffbericht_sh_taubef.pdf)
- Taube F 2017. Resiliente Pflanzenproduktionssysteme der Zukunft. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 29: 10–13 <https://www.gpw.uni-kiel.de/de/jahrestagung>

VDLUFA 2012. Vorschlag des AK Nachhaltige Nährstoffhaushalte zur Novellierung der Düngeverordnung. VDLUFA Arbeitskreis Nachhaltige Nährstoffhaushalte [https://www.vdlufa.de/download/AK\\_Nachhaltige\\_Naehrstoffhaushalte.pdf](https://www.vdlufa.de/download/AK_Nachhaltige_Naehrstoffhaushalte.pdf)

WBEA 2018. Für eine gemeinwohlorientiert Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2020 Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

# Glücklich oder nicht? Wie steht es um die Lebenszufriedenheit beim Schwein?

I. Czycholl, K.L. Krugmann, F.J. Warnken, J. Krieter  
Institut für Tierzucht und Tierhaltung,  
Tierhaltung und Produktqualität  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

## Einleitung

Tierwohl wird in der Gesellschaft sehr emotional diskutiert und mehr Tierwohl wird gewünscht (Rushen, 2003). Um diese Diskussion zu versachlichen und diesen Forderungen nachzukommen, ist es nötig, Tierwohl objektiv messbar zu machen. Tierwohl ist ein multifaktorieller Komplex bestehend aus den Elementen Gesundheit und biologische Funktionalität, artgemäßes Verhalten und emotionaler Zustand (Fraser, 2009). Während die Elemente der Gesundheit, der biologischen Funktionalität und die Ausübung artgemäßen Verhaltens bereits erforscht sind (Barnett und Hemsworth, 1990; Broom, 1986), fehlen wissenschaftliche Studien über den positiven emotionalen Zustand von landwirtschaftlichen Nutztieren (Marcet Rius et al., 2018).

Im Rahmen des Projektes „FeelGood“ wurden daher verschiedene physiologische und verhaltensbezogene Parameter auf ihre Eignung als objektive Indikatoren für die Beurteilung des Gemütszustandes von Mastschweinen untersucht. Hierzu wurden basierend auf einer Literaturrecherche Verhaltens-tests, körpersprachliche Signale, Spielverhalten, Immunglobulingehalt, Speichelproteinzusammensetzung, Nebennierengewicht und Anzahl der Astrogliazellen sowie Größe des Hippocampus als potentiell geeignete Indikatoren extrahiert (Czéh et al, 2006, Lawrence, 1987, Spann & Heinemann, 1955). Beispielhaft werden hier einige der Ergebnisse für das Spielverhalten, das Nebennierengewicht, Astrogliazellen und Größe des Hippocampus dargestellt. Um einen gesamten Überblick zu erlauben, wurde zudem mittels Strukturgleichungsmodellierung geschätzt, welche Indikatoren besonders geeignet sein könnten, den Gemütszustand, welcher nur indirekt einer Messung zugänglich ist, abzubilden.

## Tiere und Haltung

Die Studie wurde von November 2016 bis Dezember 2017 auf drei Schweinemastbetrieben (Pi x LR) mit unterschiedlichen Haltungssystemen in jeweils zwei Durchgängen durchgeführt. Die Schwänze der Tiere wurden nicht kupiert, und die männlichen Tiere waren chirurgisch kastriert. Betrieb 1 repräsentierte eine karge Haltungsumwelt verglichen mit einer angereicherten Haltungsumwelt auf den Betrieben 2 und 3. Die Anreicherung der Haltungsumwelt bestand aus einem stroheingestreuten Innen- bzw. Außenbereich, zusätzlich gab es auf Betrieb 3 einen mit Erdboden ausgestatteten Wühlbereich (Betrieb 2: 2,4 bzw. 2,67m<sup>2</sup>/Tier; Betrieb 3: 8,33m<sup>2</sup>/Tier). Herkömmliche Buchten mit planbefestigtem bzw. Spaltenboden kennzeichneten das karge Haltungssystem (Betrieb 1: 0,92m<sup>2</sup>/Tier). Zudem standen den Tieren des Betriebes 1 Metallketten, Plastikrohre und Bälle als ständiges Beschäftigungsmaterial zur Verfügung. Bei vermehrtem Auftreten von Schwanzbeißen wurden zusätzlich Jutesäcke angeboten. Betrieb 1 arbeitete in einem geschlossenen System und Betrieb 2 und 3 als reine Mastbetriebe.

## Erfassung des Spielverhaltens

Im Rahmen der Untersuchung wurde das Spielverhalten von 228 individuell markierten Schweinen (Betrieb 1: n=138, Betrieb 2: n=54, Betrieb 3: n=36) mithilfe von Kamerasystemen (HeiTel Digital Video

GmbH, Kiel, Germany und AXIS M30-VE Network Kameras) an zwei Tagen, jeweils zum Beginn und zum Ende der Mast, aufgezeichnet. Gemäß einem mittels Literaturstudien festgelegten Ethogramms wurde das Videomaterial durch vier geschulte Beobachter analysiert. Eine kontinuierliche Beobachtung wurde genutzt, um die Dauer (in Sekunden pro Stunde (s/h)) jedes Spielverhaltens für jedes Schwein zu notieren. Sofern mehrere Schweine gleichzeitig spielten, wurde die Sequenz für ein Fokustier analysiert und danach zurückgespult, um sie erneut für die anderen Tiere in der Bucht zu beobachten.

### **Analyse der Nebennieren und Hippocampi**

Aufgrund fehlender Bereitstellung von Schlachtdaten des Betriebes 3 beschränkte sich die Analyse der Nebennieren und Hippocampi auf die Tiere des Betriebes 1 und 2. Die Entnahme der Organe aller Tiere beider Durchgänge dieser Betriebe erfolgte während des Schlachtprozesses. Die Tiere von Betrieb 1 wurden an einem Termin geschlachtet, während die Tiere von Betrieb 2 über einen längeren Zeitraum in Gruppen von 2-6 Tieren geschlachtet wurden. Beide Nebennieren wurden mit dem umliegenden Gewebe entnommen, tierindividuell gekennzeichnet und gekühlt. Anschließend wurden diese herauspräpariert und mittels Präzisionswaage gewogen. Beschädigte Nebennieren wurden verworfen und bei Vorhandensein zweier intakter Nebennieren der Mittelwert gebildet (Betrieb 1: n=23, Betrieb 2: n=54). Um einen Einfluss des Körpergewichts auf das Gewicht der Nebennieren auszuschließen, wurde auf Grundlage des netto Schlachtgewichts das relative Nebennierengewicht (rel. NN in mg/kg) berechnet. Hohe rel. NN implizierten hierbei ein hohes Maß an Stress während leichtere rel. NN eine geringe Stressexposition anzeigten.

Die entnommenen Gehirnhälften wurden in Paraformaldehyd fixiert und die Hippocampi herauspräpariert. Anschließend wurden pro Betrieb 30 Hippocampi mittels GFAP-Immunhistologie gefärbt und über die Software IMAGE J (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA) semiquantitativ auf die Pixelintensität der Färbung untersucht. Zudem erfolgte eine Messung der Hippocampusgröße über die Erfassung des Durchmessers in mm. Für jedes Tier wurde der Mittelwert aus vier Schnitten gebildet. Basierend auf der bereits erwähnten Literatur, wurden größere Hippocampi und eine geringere Pixelintensität als Hinweis auf einen positiveren Gemütszustand und kleinere Hippocampi sowie höhere Pixelintensitäten als Hinweis auf einen negativeren Gemütszustand gewertet.

### **Statistische Auswertung**

Die Daten wurden mithilfe der SAS<sup>®</sup> 9.4 Software analysiert. Die Auswertung des Spielverhaltens und der relativen Nebennierengewichte erfolgte mittels linear gemischter Modelle (PROC MIXED) und für die Auswertung der Hippocampusparameter wurde eine lineare multivariate Varianzanalyse (GLM, MANOVA) genutzt. Das Strukturgleichungsmodell wurde mit Hilfe der Software SmartPLS 3.0 (Ringle et al., 2015) erstellt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Dauer des Spielverhaltens (s/h) unterschied sich zwischen den einzelnen Betrieben während des ersten Testzeitpunktes (Vormast) signifikant. Hierbei spielten die Tiere des kargen Betriebes 1 insgesamt länger als die Schweine der angereicherten Haltungsumwelten 2 und 3 (vgl. Tabelle 1). Hingegen zeigte sich während des zweiten Testzeitpunktes (Endmast) ein umgekehrtes Verhaltensmuster der Schweine zwischen den beiden Haltungssystemen: auf den Betrieben der angereicherten Haltungsumwelt (Betrieb 2, 3) wurde signifikant mehr Spielverhalten (s/h) beobachtet, als in der kargen Haltungsumwelt (Betrieb 1) (vgl. Tabelle 1).

**Tabelle 2:** LSQ-Mittelwerte und Standardfehler des Spielverhaltens (s/h) der verschiedenen Betriebe in den unterschiedlichen Mastphasen (Vormast/Endmast)

	Betrieb 1 (n=138)	Betrieb 2 (n=54)	Betrieb 3 (n=36)
Vormast	8,36 ± 1,10 <sup>A,a</sup>	1,57 ± 1,07 <sup>B,a</sup>	3,35 ± 1,08 <sup>C,a</sup>
Endmast	1,20 ± 1,08 <sup>A,b</sup>	2,27 ± 1,09 <sup>B,b</sup>	2,75 ± 1,08 <sup>B,a</sup>

<sup>A, B, C</sup> signifikante Unterschiede zwischen den Betrieben innerhalb der jeweiligen Mastphase ( $p < 0,05$ ).

<sup>a, b</sup> signifikante Unterschiede zwischen den jeweiligen Mastphasen innerhalb der Betriebe ( $p < 0,05$ ).

Gemäß der Literatur tritt Spielverhalten nur dann auf, wenn die Grundbedürfnisse der Tiere erfüllt sind (Newberry, 1988), optimale Umweltbedingungen vorhanden sind (Lawrence, 1987) und das Tier sich gut fühlt (Siviy et al., 2006). Die längere Dauer des Spielverhaltens (s/h) auf Betrieb 1 während der Vormast könnte dadurch bedingt sein, dass diese Schweine im Gegensatz zu den Tieren von Betrieb 2 und 3 keine relative Verschlechterung ihres Haltungssystems erfahren, sondern eine Verbesserung. Hierbei verdoppelt sich das Platzangebot pro Tier bei der betriebsinternen Umstallung aus dem Aufzucht- in den Vormastbereich auf Betrieb 1 annähernd (0,35 vs. 0,92m<sup>2</sup>/Tier), während die Tiere von Betrieb 2 und 3 möglicherweise Stress erleben und somit weniger Spielverhalten ausführen, da sie eine Umstallung von einer Weidehaltung in eine relativ reizärmere Stallhaltung erfahren (Le Floc'h et al., 2010). Während der Endmast (Lebendgewicht  $\geq 100$ kg) könnte vor allem das höhere Platzangebot pro Tier in der angereicherten Haltung (2,67m<sup>2</sup>/Tier bzw. 8,33m<sup>2</sup>/Tier vs. 0,92m<sup>2</sup>/Tier) ein entscheidender Einflussfaktor für das vermehrte Auftreten von Spielverhalten sein. Nach Newberry et al. (1988) wird Spielverhalten durch plötzliche Ereignisse wie windiges Wetter oder neue Eindrücke stimuliert, welche in angereicherten Habitaten (Betrieb 2 und 3) mit fortlaufend neuen Reizen, wie dem saisonalen Einfluss wahrscheinlich häufiger auftreten, als in einer kargen Haltungsumwelt (Betrieb 1) mit Zwangslüftung. Zudem wurde in der angereicherten Haltung (Betrieb 2, 3) kein Schwanzbeißen beobachtet, während diese Verhaltensstörung in dem kargen Haltungssystem (Betrieb 1) insbesondere während der Endmast zunehmend auftrat und vermutlich auf ein geringeres Wohlergehen der Tiere hindeutet (Brunberg, 2011).

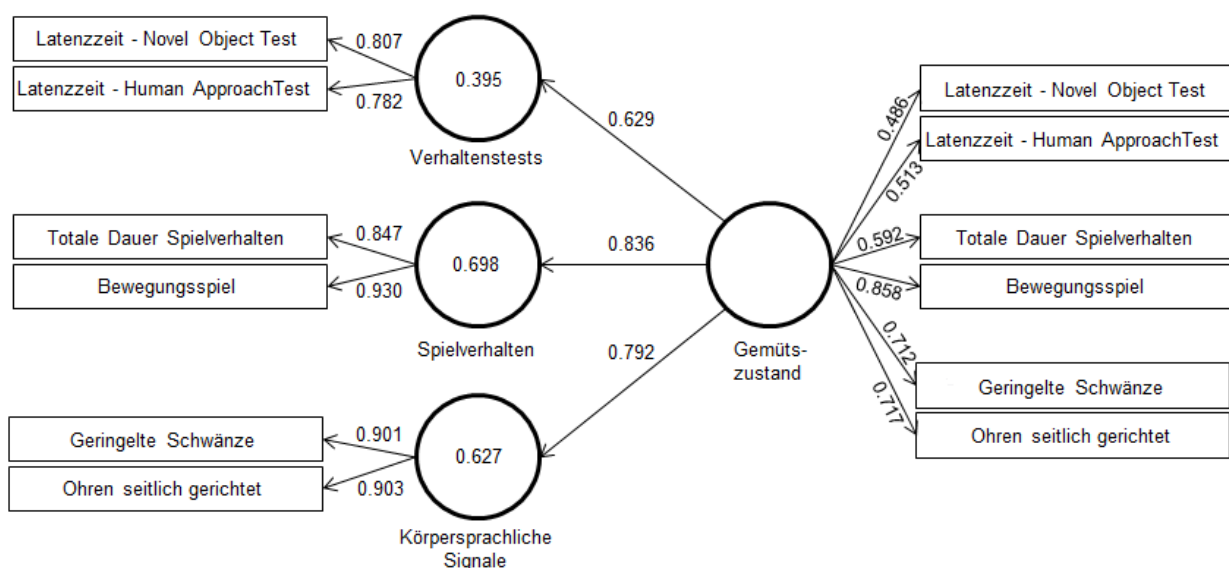
Der Vergleich der Dauer des Spielverhaltens für die jeweiligen Zeitpunkte innerhalb der Betriebe zeigte indifferente Ergebnisse: Während die Tiere auf Betrieb 1 und 3 mehr Spielverhalten (s/h) in der Vormast, als in der Endmast zeigten, trat auf Betrieb 2 signifikant mehr Spielverhalten (s/h) bei den älteren Schweinen auf, als bei den Jüngeren (vgl. Tabelle 1). Hierbei stimmen die Ergebnisse von Betrieb 1 und 3 mit denen der Literatur überein, dass Spielverhalten für junge Tiere charakteristisch ist und mit zunehmendem Alter abnimmt (Brown et al., 2015). Die gegensätzlichen Ergebnisse von Betrieb 2 könnten wiederum durch die stressinduzierende Haltungsumstellung der Schweine vom Erzeuger- in einen Mastbetrieb erklärt werden.

Die Analyse der rel. NN zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Durchgängen innerhalb der Betriebe ( $p < 0,01$ ): Die Tiere des ersten Durchgangs der kargen Haltungsumwelt (Betrieb 1) (41,1 mg/kg  $\pm 1,1$  mg/kg), hatten signifikant höhere rel. NN als der zweite Durchgang desselben Betriebes und des ersten Durchgangs der angereicherten Haltungsumwelt (Betrieb 2) (Betrieb 1 - Durchgang 2: 32,4 mg/kg  $\pm 1,1$  mg/kg, Betrieb 2 - Durchgang 1: 30,1 mg/kg  $\pm 1,0$  mg/kg). Ein möglicher Grund für diesen signifikanten Unterschied könnte, wie bereits erwähnt, das Auftreten von Schwanzbeißen sein: Während des ersten Durchganges auf Betrieb 1 waren 20% der Tiere von Schwanzbeißen betroffen. Im zweiten Durchgang wurden lediglich 7 % betroffene Tiere beobachtet. Schwanzbeißen gilt als Ausdruck geringen Wohlbefindens (Brunberg, 2011) und kann durch Risikofaktoren wie Stress und einen

schlechten Gesundheitszustand ausgelöst werden (Edwards, 2011), welche ihrerseits ebenfalls Schwanzbeißen auslösen können (Schröder-Petersen & Simonsen, 2011). Somit könnte das Schwanzbeißen in diesem Fall sowohl als Krankheitsbelastung, als auch als allgemeiner Stressor für die gesamte Gruppe zu einem erhöhten Nebennierengewicht geführt haben. Die vorliegenden Schlachtbefunde der untersuchten Schweine sprechen eher gegen einen Krankheitseinfluss: 26% der Tiere des zweiten Durchganges auf Betrieb 2 hatten verwurmete Lebern und damit ebenfalls eine erhöhte Krankheitsbelastung, jedoch ohne erhöhte Nebennierengewichte. Die vorliegende Studie weist demnach auf eine potentielle Eignung des relativen Nebennierengewichtes für die Erfassung des Gemütszustandes bei Mastschweinen hin.

Die Untersuchung der Hippocampi ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Betrieben ( $p < 0,05$ ): Die Hippocampi der Tiere aus der kargen Haltungsumwelt (Betrieb 1) ( $5,2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ ) hatten signifikant größere Durchmesser als die Hippocampi der Tiere der angereicherten Haltungsumwelt (Betrieb 2) ( $4,9 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ ). Die signifikant höhere Pixelintensität der GFAP-gefärbten Schnitte der kargen Umwelt (Betrieb 1) ( $171 \pm 3,0$ ) zeigt niedrigere Astroglia-Zellzahlen an; im Gegensatz dazu implizieren die signifikant niedrigeren Pixelintensitäten ( $163 \pm 3,0$ ) höhere Astroglia-Zellzahlen bei den Tieren der angereicherten Haltungsumwelt (Betrieb 2). Möglicherweise führte die relativ kargere Umwelt der Schweine von Betrieb 1 dazu, dass diese Tiere größerem Stress ausgesetzt waren, der sich wiederum in einer geringeren Astroglia-Zellzahl äußerte (Czéh et al., 2006). Andersherum könnten allerdings auch die vermehrten Umgebungsreize, bedingt durch den Außenbereich auf Betrieb 2, zu vermehrtem Stress bei diesen Tieren geführt haben. Dieses wäre dann in den niedrigeren Hippocampusdurchmessern sichtbar (Czéh et al., 2006). Allerdings ist hierbei auch ein möglicher Einfluss von positivem Stress auf die Hippocampi zu beachten. Weiterhin konnte zwischen der GFAP-Pixelintensität und dem Hippocampusdurchmesser keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden ( $r = 0,20$ ;  $p = 0,08$ ).

Das validierte Strukturgleichungsmodell ist in Abbildung 1 dargestellt. Spielverhalten sowie körpersprachliche Signale werden am meisten durch den Gemütszustand beeinflusst und sind somit die vielversprechendsten Indikatoren.



**Abbildung 1:** Validiertes Strukturgleichungsmodell. Kreise symbolisieren latente Variablen. Rechtecke stellen die gemessenen Indikatoren dar. Die Pfeile zwischen den Kreisen zeigen die Zusammenhänge zwischen den latenten Variablen, die Pfeile zwischen Kreisen und Rechtecken die Zusammenhänge zwischen latenter Variable und Indikatoren. Der jeweilige Determinationskoeffizient ist in den Kreisen dargestellt.

## **Fazit und Ausblick**

Insbesondere die eindeutigen Unterschiede des Auftretens von Spielverhalten zwischen den beiden Haltungssystemen weisen darauf hin, dass Spielverhalten dazu geeignet ist, verschiedene emotionale Zustände der Tiere abzubilden. Dies bestätigte sich auch in der Betrachtung des Strukturgleichungsmodells. Demnach könnte es möglich sein, dass das Auftreten von Spielverhalten von Mastschweinen in unterschiedlichen Haltungssystemen einen potentiellen Indikator für die Messung von positiven, als auch negativen Gemütszuständen, sowie des gesamten Wohlergehens der Tiere darstellt. Jedoch bleibt es fraglich, ob das Auftreten von Spielverhalten als alleinstehender Indikator verwendbar ist, um einen positiven Gemütszustand zu erfassen. Die Ergebnisse des Strukturgleichungsmodells legen nahe, dass eine Kombination mit körpersprachlichen Signalen sinnvoll sein könnte. Ebenfalls erscheint eine Kombination mit dem relativen Nebennierengewicht vielversprechend, für welches sich ebenfalls eine potentielle Eignung als Indikator für den Gemütszustand ergab. Die Ergebnisse der Hippocampusparameter waren hingegen nicht eindeutig und bedürfen weiterer Validierung.



## Referenzen:

- Barnett, J.L., Hemsforth, P.H. (1990): The validity of physiological and behavioural measures of animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 25, 177-187.
- Broom, D.M., (1986): Indicators of poor welfare. *British veterinary journal* 142, 524-526.
- Brown, S. M.; Klaffenböck, M.; Nevison, I.M.; Lawrence, A. B. (2015): Evidence for litter differences in play behaviour in pre-weaned pigs. *Applied animal behaviour science* 172, S. 17–25.
- Brunberg, E (2011).: Tail biting and feather pecking: using genomics and ethology to explore motivational backgrounds. In: *Acta Universitatis agriculturae Sueciae, Dissertation*
- Czéh, B.; Simon, M.; Schmelting, B.; Hiemke, C.; Fuchs, B. (2006): Astroglial Plasticity in the Hippocampus is Affected by Chronic Psychosocial Stress and Concomitant Fluoxetine Treatment *Neuropsychopharmacology* (31), S. 1616–1626.
- Edwards, S. (2011): What do we know about tail biting today? In: *The pig journal* (66), S. 81–86.
- Lawrence, A. (1987): Consumer demand theory and the assessment of animal welfare. *Animal Behaviour* 35, S. 293-295.
- Le Floc'h, N.; Matte, J. J.; Melchior, D.; van Milgen, J.; Sève, B. (2010): A moderate inflammation caused by the deterioration of housing conditions modifies Trp metabolism but not Trp requirement for growth of post-weaned piglets. In: *Animal : an international journal of animal bioscience* 4 (11), S. 1891–1898.
- Marcet Rius, Míriam; Cozzi, A.; Bienboire-Frosini, C.; Teruel, E.; Chabaud, C.; Monneret, P. (2018): Selection of putative indicators of positive emotions triggered by object and social play in mini-pigs. *Applied animal behaviour science* 202, S. 13–19.
- Newberry, R. C.; Wood-Gush, D.G.M.; Hall, J. W. (1988): Playful behaviour of piglets. *Behavioural Processes* 17 (3), S. 205–216.
- Ringle, C.M., Wende, S., Becker, J.M. (2015): SmartPLS 3 (Software).
- Rushen, J. (2003): Changing concepts of farm animal welfare – Bridging the gap between applied and basic research. *Applied Animal Behavior Science* 81, S. 199–214.
- Schrøder-Petersen, D. L.; Simonsen, H. B. (2001): Tail biting in pigs. In: *Veterinary journal (London, England : 1997)* 162 (3), S.196–210.Siviy, S.M., Harrison, K.A., Fear McGregor, L.S. (2006): Risk assessment, and playfulness in the juvenile rat. *Behavioural Neuroscience*, 120 (1), S. 49-59.
- Spann, W.; Heinemann, W. (1955): Gewicht und Lipidgehalt der Nebenniere in Abhängigkeit von der Todesursache. In: *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* 44 (1), S. 77–97.

# Tierproduktion im postantibiotischen Zeitalter – ein denkbare Szenario?

Christina S. Hölzel, Julia L. Tetens  
Institut für Tierzucht und Tierhaltung  
Tiergesundheit und Tierhygiene  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

## Das postantibiotische Zeitalter

Bleibt Tierproduktion in einem postantibiotischen Zeitalter in der heutigen Form denkbar? Dieser Frage kann man mit gewissem Recht die Frage voranstellen, ob es sich denn bei dem postulierten „postantibiotischen Zeitalter“ überhaupt um ein realistisch vorstellbares Szenario handelt – oder doch nur um eine fiktive Endzeitvision, wie wir sie sonst aus Filmen von Roland Emmerich kennen. Für Akteure in der Landwirtschaft, die in Zeiten des drohenden Klimawandels mit realen Gefahren und zwangsläufigen Veränderungen nicht unterversorgt sind, ist die Antwort auf diese Frage unerfreulich: Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) selbst hat den Begriff aufgebracht, und etliche Stimmen sehen uns nicht länger nur an der Schwelle zu einer Zeit, in der wir uns auf die Wirkung von Antibiotika nicht mehr verlassen können – sie sind vielmehr der Auffassung, diese Zeit sei längst da.

Wie steht es um die fachliche Substanz dieser Befürchtung? Der stellvertretende WHO-Generaldirektor Keiji Fukuda spricht sich schon 2014 für schnelles und koordiniertes Handeln aus – eine Position, die die WHO schon 2011 in einem strategischen Aktionsplan niedergeschrieben hat (WHO, 2011). Nicht ohne Grund: Die WHO – sie beobachtet die menschliche Gesundheit weltweit – registriert im Humanbereich fast durchgehend hohe Resistenzraten gegenüber Wirkstoffen, die sie als „critically important“, also als besonders wichtig für die menschliche Gesundheit einschätzt: Für ihre Erhebungen teilt die WHO die Welt in sechs Regionen ein. Nicht alle der befragten 194 Länder lieferten Daten, so dass zum Teil erhebliche Lücken in der Erfassung vorliegen; aber schon aus dieser lückenhaften Erhebung geht hervor, dass fast alle WHO-Regionen der Welt von Resistenzen gegen diese wichtigen, früher auch als „Reserveantibiotika“ bezeichneten Wirkstoffe betroffen sind (WHO, 2014; zusammengefasst in Tabelle 1).

Tab. 1: Resistenz gegen Wirkstoffe, die von der WHO als critically important eingestuft werden (Bakterienisolate vom Menschen, WHO, 2014)

Bakterium	Resistenz	Anzahl berichtender Länder (von 194 befragten)	Zahl der WHO-Regionen mit > 50 % (# > 25 %) Resistenz
<i>E. coli</i>	3. Gen. Cefalosporine	86	5/6
	Fluorquinolone	92	5/6
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	3. Gen. Cefalosporine	87	6/6
	Carbapeneme	71	2/6
<i>Staphylococcus aureus</i>	„MRSA“*	85	5/6
Salmonellen	Fluorquinolone	68	3/6 #

\* MRSA: *S. aureus* mit einer Resistenz gegen Methicillin, heute überwiegend mit Stellvertretersubstanzen erhoben; im Humanbereich häufig gleichbedeutend mit Multiresistenz

In Deutschland sieht die Situation etwas günstiger aus (Tab. 2) – nicht zuletzt, weil man sich der Risiken schon seit längerem bewusst ist und entsprechende Schulungen und Leitlinien implementiert hat. Das trifft sowohl für den human- als auch den veterinärmedizinischen Einsatz von Antibiotika zu; der Einsatz bei Nutztieren ist zudem streng reglementiert und wird seit mehreren Jahren auf der Grundlage der 16. AMG-Novelle für viele Nutzungsarten systematisch erfasst.

Dennoch reagieren manche Bakterien nur noch in etwa der Hälfte der Fälle auf ein bestimmtes Antibiotikum: so sind zum Beispiel *E. coli*-Isolate von Rindern mit Durchfall häufig unempfindlich gegen Cefalosporine der dritten Generation und Fluorquinolone (BVL & PEG, 2015); die Resistenzraten bei Salmonellen vom Broiler gegenüber Fluorquinolonen liegen bei 67 % (BVL, 2013).

Werden Reserveantibiotika im Nutztierbereich eingesetzt, ist vor dem Einsatz ein Resistenztest durchzuführen. Auch im Fall des regelmäßigen metaphylaktischen Antibiotikaeinsatzes in bestimmten Altersgruppen bzw. Produktionsabschnitten verlangen die Leitlinien zum Antibiotikaeinsatz in der Veterinärmedizin Stichprobenuntersuchungen. Je nach Keimart sind solche Stichprobenuntersuchungen aber unterschiedlich aussagekräftig: vorliegende Resistenzbefunde zu *Staphylococcus aureus* sind mit höherer Wahrscheinlichkeit auf weitere Isolate bzw. Tiere übertragbar als Resistenzbefunde zu *Escherichia coli*.

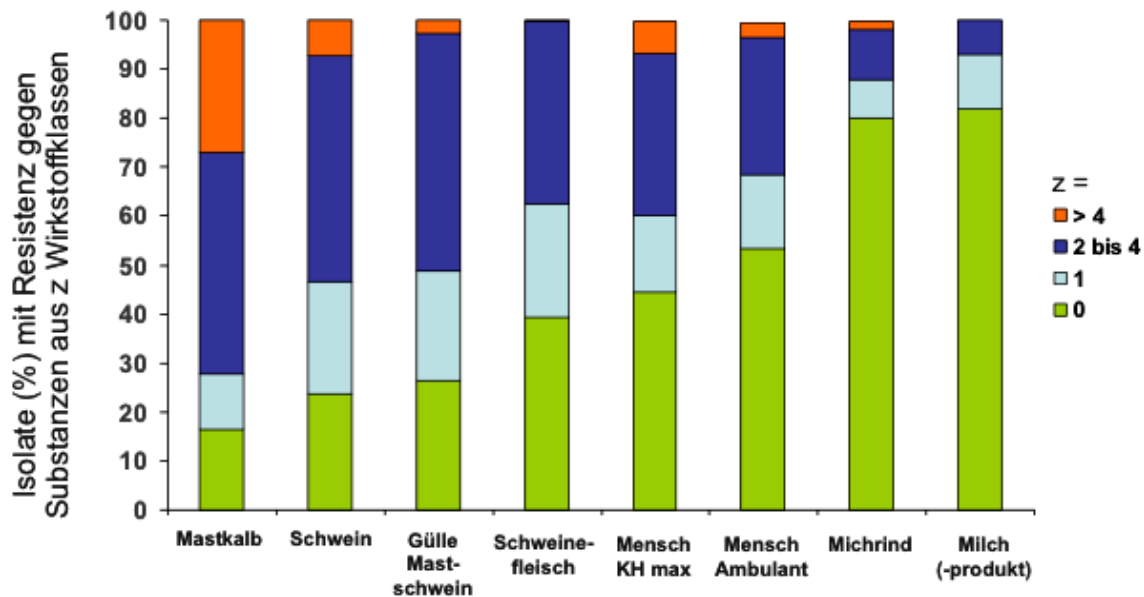
Tab. 2: Resistenz gegen Wirkstoffe, die von der WHO als critically important eingestuft werden (Bakterienisolate von Mensch und Tier in Deutschland, BVL & PEG 2015 – Zahlen aus 2014)

Bakterium	Resistenz	Isolate vom Menschen (% Resistenz)	Isolate vom Tier (% Resistenz)	
			Mastitis	Enteritis
<i>E. coli</i>	3. Gen. Cefalosporine	22,1 %	8,7 %	48 %
	Fluorquinolone	22,6 %	< 10 % /	48 %
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	3. Gen. Cefalosporine	25,3 %	6 %	k. A.
	Carbapeneme*	1,3 %	0 %	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	„MRSA“	12,7 %	5,9 %	-
Salmonellen	Fluorquinolone	bis 2 %	-	k. A.**

\*keine Zulassung für lebensmittelliefernde Tiere

\*\* Isolate aus Darminhalt Broiler: 67 % Resistenz im Jahr 2013

Zahlen aus dem Nutztierbereich zeigen immer wieder, dass die Resistenzsituation stark von der Indikation abhängen: Isolate von Rindern mit Mastitis sind deutlich seltener resistent als Isolate von Rindern mit Enteritis (Tab. 2); das bestätigen auch eigene Daten: hier zeigen sich Isolate vom Kalb am häufigsten und Isolate aus Mastitiden bzw. Konsummilch am seltensten resistent gegen mehrere verschiedene antibiotische Wirkstoffklassen zugleich (Abb. 1).



KH max: Krankenhaus der Maximalversorgung

Abb. 1: Mehrfachresistenz bei Isolaten verschiedener Quellen; eigene Daten, Deutschland 2008

Vereinzelt werden – wie im Humanbereich auch – bei Tieren bereits sogenannte panresistente Bakterien beobachtet, also Keime, gegen die keiner der zugelassenen Wirkstoffe mehr ankommt.

In eigenen Untersuchungen wurde ein solcher Stamm der Art *Pseudomonas aeruginosa* – in Krankenhäusern ein häufiger Erreger von Lungenentzündungen – aus dem Lungengewebe eines seziierten Rindes isoliert. Der Stamm war nicht nur gegen alle beim Nutztier zugelassenen Wirkstoffe resistent, sondern sprach auch auf keinen der zu dieser Zeit beim Menschen zugelassenen Wirkstoffe an; generell sind Pseudomonaden gegen viele Wirkstoffe natürlich resistent, so dass die Auswahl hier auch beschränkter ist als bei anderen Bakterienarten.

### Schlaglichter auf Alternativen zum Antibiotikaeinsatz

Wird gefordert, den Antibiotikaeinsatz in der Nutztierhaltung weiter zu reduzieren, hört man nicht selten das Argument, es sei in manchen Bereichen unmöglich, Antibiotika noch stärker einzusparen, als das jetzt schon der Fall ist. Dem ist entgegenzusetzen, dass der fortgesetzte Einsatz von Antibiotika zu einer Zunahme panresistenter Keime führen wird und es somit ohnehin unverzichtbar ist, Wege zu finden, wie Nutztiere ohne die Zuhilfenahme antibiotischer Therapie gesund erhalten werden können. Als Modell können außerdem virale Infektionen dienen – hier mussten von vornherein andere Wege eingeschlagen werden, weil kausale Therapien nicht zur Verfügung standen

Jede Infektionskrankheit von Tieren beruht auf einem Zusammenspiel von Eigenschaften des Erregers, des Wirts und der disponierenden Umwelteinflüsse. Während der Antibiotikaeinsatz einseitig auf die Erregerseite zielt, existieren vielversprechende Ansätze, stattdessen mehr Augenmerk auf das Tier und seine Umweltbedingungen zu lenken.

Die Umwelt beeinflusst das Zusammenspiel von Tier und Erreger im Wesentlichen auf zwei Arten: sie nimmt zum einen Einfluss auf die Erregerdichte, indem also in einer „unhygienischen“, keimreichen Umwelt die Wahrscheinlichkeit eines Aufeinandertreffens von Tier und Erreger erhöht wird. Zum anderen beeinflusst sie die Disposition des Tieres, etwa, indem das Immunsystem des Tieres durch

„Stress“ geschwächt wird – zum Beispiel in Folge hoher Besatzdichten. Ungünstige Umweltbedingungen wie Schadgase oder Traumata können auch das Lungengewebe bzw. die Haut des Tieres so vorschädigen, dass diese ihre Barrierefunktion nicht mehr wahrnehmen können und eine Ansiedlung von Infektionserregern überhaupt erst möglich wird.

Zu den Umweltbedingungen im weitesten Sinn gehört auch die Fütterung der Tiere – so ist es möglich, durch adäquate Fütterung einerseits Dysbiosen zu vermeiden und andererseits nicht-infektiöse Durchfallerkrankungen zu verhindern und somit dem unnötigen Antibiotikaeinsatz vorzubeugen. Antimikrobiell wirksame Futterzusatzstoffe werden allerdings in ihrem langfristigen Potential als nachgeordnet eingeschätzt, da sich letztlich gegen alle antimikrobiell wirksamen Substanzen früher oder später Resistenzen entwickeln.

Dass es deutlich leichter ist, Tiere unter optimalen Umweltbedingungen gesund zu erhalten, ist lange bekannt; manche der weiter oben genannten Faktoren erfahren im Augenblick eine positive Entwicklung nicht zuletzt auch durch die Debatte um den Begriff „Tierwohl“ und dessen Umsetzung. Dennoch führte die Optimierung von Haltung und Hygiene bisher nicht zur Ausrottung von Infektionskrankheiten, so dass neben den Umweltbedingungen auch das Tier selbst in den Fokus rückt.

Einer der unmittelbar auf das Tier zielenden Ansätze besteht in der Züchtung auf genetisch bedingte Unempfindlichkeit, umgangssprachlich auch Resistenz genannt, wobei die Infektiologie unter einer Resistenz eine Arteigenschaft versteht – ein Beispiel hierfür ist die Resistenz von Menschen gegen Schweinepest und umgekehrt die von Schweinen gegen Masern, Windpocken etc. Eine Resistenz tritt also innerhalb einer Tierart durchgehend bei allen Individuen auf, während es sich bei den „auf Resistenz“ gezüchteten Tieren um eine genetische Variante innerhalb der Art handelt, also eine genetisch bedingte Disposition. Ein bekanntes Beispiel sind Schweine, die unempfindlich gegen die sogenannte Ödemkrankheit sind (Meijerink 2000). Dieses Krankheitsbild wird von *E. coli* Stämmen vorwiegend des Fimbrientyps F18 verursacht; fehlt den Tieren der Rezeptor für diese Fimbrien, können die Krankheitserreger nicht haften bleiben. Deshalb kommt es nicht zu kritischen Konzentrationen der eigentlich krankheitsauslösenden Shiga-like-Toxine im Darm der Tiere und somit nicht zur Erkrankung. Entsprechende Schweinelinien sind bereits auf dem Markt.

Für die Ödemkrankheit spielt der Antibiotikaeinsatz allenfalls metaphylaktisch eine Rolle, da bereits erkrankte Tiere nicht antibiotisch behandelt werden sollten (das führt zu einer erhöhten Toxinausscheidung). Weiter reichendes Reduktionspotential wird bei der Züchtung von Schweinen auf Unempfindlichkeit für den Fimbrientyp F4 (verantwortlich für Absetzerdurchfälle) oder auf APP-Unempfindlichkeit gesehen, da diese Erkrankungen tatsächlich antibiotisch behandelt wird; entsprechende Tiere sind aber noch nicht verfügbar, die Züchtbarkeit auf diese Merkmale ist Gegenstand laufender Forschungsprojekte.

Neben der natürlichen Unempfindlichkeit spielen selbstverständlich Abwehrprozesse eine wesentliche Rolle, wenn es darum geht, ob sich aus dem Aufeinandertreffen von Wirt und Erreger tatsächlich eine Erkrankung entwickelt. Deshalb kommt der gezielten Immunprophylaxe, also der Impfung eine hohe Bedeutung zu, will man Krankheiten von vornherein vermeiden, statt sie nachträglich zu behandeln. Das enorme Potential von Impfungen zeigt sich in der Tatsache, dass der erste Erreger, der heute weltweit als ausgerottet gilt, nämlich das Pockenvirus (*Orthopoxvirus variolae*), eben jener Erreger ist, der Anlass zur Entdeckung und Einführung der ersten Impfungen (mit dem verwandten Kuhpockenvirus) gab (Pearson, 1798).

Unter Laien existiert häufig die fehlerhafte Annahme, Impfungen seien grundsätzlich nur gegen Viren möglich, oder allenfalls noch gegen bakterielle Toxine (Beispiel Tetanus). Demgegenüber steht die ständig wachsende Zahl zugelassener Impfungen gegen Bakterien im Nutztierbereich – am bekanntesten sicherlich die gesetzlich vorgeschriebene Impfung gegen bestimmte Salmonellen-Serovare beim

Geflügel. Weitere zugelassene Impfstoffe richten sich gegen Mykoplasmen, Pasteurellen, Bordetellen, APP, Clostridien, *E. coli*, Rotlauf, Lawsonien und einige mehr (<https://www.pei.de/DE/anzneimitel/impfstoff-impfstoffe-fuer-tiere/impfstoff-impfstoffe-fuer-tiere-node.html>). Zunehmend sammeln Betriebe auch mehr und mehr Erfahrung mit der sogenannten Mastitisimpfung, die allerdings nur gegen Mastitiden Abhilfe verspricht, die durch *Staphylococcus aureus* oder *E. coli* bzw. coliforme Keime verursacht sind. *S. aureus* als häufigster Euter-assoziiertes Mastitiserreger gilt als sogenanntes major pathogen, dessen Nachweis auf dem Betrieb nach gängiger Auffassung die Etablierung eines selektiven Trockenstellmanagements verhindert (DLG-Merkblatt 400). Gleichzeitig entfällt ein wesentlicher Anteil des Antibiotikaeinsatzes im Milchviehbereich auf Antibiotika-haltige Trockensteller, so dass alternative Mastitis-Bekämpfungsmaßnahmen – selbst wenn sie nur gegen *S. aureus* greifen – ein wesentliches Einsparpotential für den ohnehin schon geringen Antibiotikaeinsatz beim Milchvieh bieten.

Eine interessante Alternative mindestens zur lokalen antibiotischen Therapie stellen Bakteriophagen dar. Diese auf Bakterien spezialisierten Viren können nach ihrer Vermehrung zur Auflösung (Lyse) von Bakterienzellen führen und so also Bakterien abtöten. Waren Phagen früher vor allem wegen ihrer molkereichschädlichen Wirkungen im Fokus, rückt heute der mögliche Einsatz in der Oberflächendesinfektion, aber auch in individualisierten Therapien in den Fokus (Cisek 2017). Die Deutsche Sammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen hat deshalb schon seit längerem eine Phagenbank etabliert, die sie laufend ausweitet (<https://www.dsmz.de/catalogues/catalogue-microorganisms/groups-of-organisms-and-their-applications/phages.html>). In dieser Phagenbank war bisher kein Phage für *Staphylococcus hyicus*, den Erreger des Ferkelruß, verfügbar. In Zusammenarbeit mit einem Praxisbetrieb gelang es uns, in einem Ausbruch von Ferkelruß sowohl *S. hyicus* als auch den dazu passenden Phagen zu isolieren: der Phage konnte in Zusammenarbeit mit dem Max-Rubner-Institut aus Waschwasser isoliert werden, mit dem ein betroffenes Ferkel zu diagnostischen Zwecken abgewaschen wurde. Der therapeutische Einsatz von Phagen bei Hautwunden vom Tier ist grundsätzlich erfolversprechend: In Therapieversuchen an einem Zootier mit einer nicht heilenden Wunde konnten von der DSM gute Erfolge mit dem Einsatz einer (anderen) Phagensuspension erzielt werden. Ein therapeutischer Einsatz von Phagen beim Nutztier scheitert bisher allerdings an lebensmittelrechtlichen Beschränkungen; zudem ist die Produktion einer Phagensuspension in einer Menge, wie sie zur Behandlung eines Nutztierbestandes nötig wäre, bisher nicht kosteneffizient möglich.

Grundsätzlich sind die Maßnahmen, die man in einem etwaigen post-antibiotischen Zeitalter für die Tiergesundheit anwenden können, dieselben Maßnahmen, die wir heute anwenden müssen, um dafür zu sorgen, dass ein solches Zeitalter gar nicht erst eintritt. Die Diskussion, wann dieses Zeitalter nun kommt, oder in welchem Ausmaß es womöglich schon da ist, ist daher eher nachgeordnet, wenn es darum geht, konsequent nach Alternativen für den Antibiotikaeinsatz zu suchen. Das passende Haltingsbedingungen hierbei entscheidend sind, ist als Erkenntnis nicht neu, aber von unveränderter Wichtigkeit.

## Referenzen:

BVL – Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2013): BVL-Report · 9.4 - Berichte zur Lebensmittelsicherheit - Zoonosen-Monitoring 2013. ISBN 978-3-319-15379-7. DOI 10.1007/978-3-319-15380-3

BVL & PEG - Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Paul-Ehrlich-Gesellschaft für Chemotherapie e.V. (2015) GERMAP 2015 – Bericht über den Antibiotikaverbrauch und die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Human- und Veterinärmedizin in Deutschland. Antiinfectives Intelligence, Rheinbach, 2016.

Cisek AA, Dąbrowska I, Gregorczyk KP, Wyżewski Z. (2017): Phage Therapy in Bacterial Infections Treatment: One Hundred Years After the Discovery of Bacteriophages. *Curr Microbiol.* 74:277-283.

DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft: DLG-Merkblatt 400. (ohne Jahresangabe): <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/tierhaltung/milchproduktion-und-rinderhaltung/dlg-merkblatt-400/>

Meijerink E, Neuenschwander S, Fries R, Dinter A, Bertschinger HU, Stranzinger G, Vögeli P. (2000): A DNA polymorphism influencing alpha(1,2)fucosyltransferase activity of the pig FUT1 enzyme determines susceptibility of small intestinal epithelium to *Escherichia coli* F18 adhesion. *Immunogenetics.* 52:129-136.

Pearson G (1798): An inquiry concerning the history of the cowpox : principally with a view to supersede and extinguish the smallpox. <https://archive.org/details/b21514999>

WHO – World Health Organization (2011): Strategischer Aktionsplan zur Bekämpfung von Antibiotikaresistenzen. [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0010/147736/wd14G\\_AntibioticResistance\\_111382bhn.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/147736/wd14G_AntibioticResistance_111382bhn.pdf)

WHO – World Health Organization (2014): Antimicrobial resistance: global report on surveillance 2014. ISBN: 978 92 4 156474 8. <https://www.who.int/drugresistance/documents/surveillance-report/en/>



## Phytaseinsatz in der Nutztierernährung – quo vadis?

R. Blank, A. Susenbeth, S. Wolfram  
Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

In pflanzlichen Futtermitteln wie Getreide, Ölsaaten und Leguminosen liegt der überwiegende Teil (50 - 80 %) des Phosphors vor allem in Phytinsäure gebunden vor. Phytinsäure (Myo-Inositol-1, 2, 3, 4, 5, 6-Hexa-Kis-Dihydrogenphosphat) besteht aus einem Inositol welches mit 6 Phosphorsäureresten verestert ist (Abbildung 1) und dient in Pflanzen vor allem als Speicherform für Phosphat. In der Pflanze liegt Phytinsäure zumeist als Salz (Phytat) mit Kationen ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) oder anderen Spurenelementen ( $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ) als Bindungspartner vor. Während der Keimung und Entwicklung der Pflanze wird das Phosphat durch pflanzeigene Phytasen freigesetzt. Phytasen katalysieren die Hydrolyse von Phytinsäure (IP6) zu niederen Inositolphosphaten (IP5 - IP1) und anorganischem Phosphat durch stufenweise Abspaltung von Phosphatresten. Monogastrische Spezies wie Schwein, Geflügel und auch Fisch weisen im proximalen Verdauungstrakt nur eine geringe bzw. ungenügende Phytaseaktivität auf, so dass die Verdaulichkeit von Phosphor aus pflanzlichen Futtermitteln nur ca. 20 - 50 % beträgt. Höhere Phosphorverdaulichkeiten weisen meist Samen oder Futtermittel auf, die noch eine gewisse pflanzeigene Phytaseaktivität aufweisen (Gerste, Weizen) während geringere Phosphorverdaulichkeiten meist bei Samen zu finden sind, die keine signifikante Phytaseaktivität aufweisen (Mais) oder bei denen das Enzym durch Hitzebehandlung (Extraktionsschrote) inaktiviert wurde. Auch bei üblichen Futterbehandlungen wie dem Pelletieren kann die pflanzeigene Phytase reduziert oder inaktiviert werden (Humer et al.2014). Die geringe Verdaulichkeit des Phosphors aus pflanzlichen Futtermitteln führt zu einer ungenügenden Versorgung mit Phosphor und wurde in der Vergangenheit durch Einsatz von Tier- und Fischmehl oder durch Zusatz von mineralischen Phosphorquellen ausgeglichen, deren Verdaulichkeiten im Bereich von 70 – 95 % liegen. Der Verbot von Tier- und Fischmehl als Futtermittel, steigende Preise von mineralischen Phosphor, sowie eine verschärfte Umweltgesetzgebung (Rodehutsord et al. 2002) haben den Einsatz von mikrobiellen Phytasen zu Rationen von monogastrischen Spezies in den letzten 10 Jahren zu einem Standard in der Rationsgestaltung für Monogastrier werden lassen. Heutzutage enthalten mehr als 90% der hergestellten Alleinfuttermittel für Geflügel und Schweine mikrobielle Phytasen.

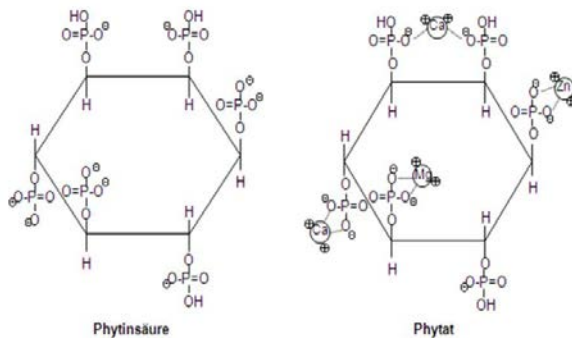


Abbildung 1: Chemische Strukturen von Phytinsäure und Phytat.

Der Einsatz von mikrobiellen Phytasen im Futter erhöht nicht nur die Verdaulichkeit des Phosphors, er leistet auch einen positiven Beitrag zum Umweltschutz. In Gebieten mit intensiver Tierhaltung ist die Phosphatmission sehr hoch und kann zu Umweltproblemen führen (Eutrophierung). Durch den Zusatz von Phytasen kann nicht nur der Anteil von mineralischen Phosphor im Futter, sondern auch die Phosphatausscheidung bei Schwein und Geflügel um bis zu 30 - 60 % reduziert werden (Knowlton et al. 2004).

Mikrobielle Phytasen wirken vor allem im oberen Teil des Verdauungstraktes [Magen (Schwein) bzw. Kropf/Drüsen- und Muskelmagen (Geflügel)], da bei einem pH von 7, wie er im Dünndarm vorliegt, die Phytinsäure Komplexe bildet, die schlecht löslich sind und somit die Phosphor-Freisetzung durch Phytase gehemmt wird. Die in der Tierernährung eingesetzten kommerziellen mikrobiellen Phytasen gehören ausschließlich zur Gruppe der sauren Phosphatasen. Die erste Generation kommerziell produzierter mikrobieller Phytasen ist seit 1991 auf dem Markt und wurde aus dem Pilz *Aspergillus niger* gewonnen. Im Jahre 1999 konnte gezeigt werden das *E. coli*-Phosphatasen deutlich effektiver sind, was zu einer neuen Generation bakterieller Phytasen führte, welche den bisherigen aus Pilzen gewonnen Phytasen überlegen waren. Diese Phytasen können eingeteilt werden nach der Position des C-Atoms an dem die Hydrolyse von Phosphat beginnt (3 vs. 6). Diese Phytasen unterscheiden sich bezüglich ihres optimalen pH Wertes, Resistenz gegenüber endogenen Proteasen sowie ihrer Affinität gegenüber ihrem Substrat (*E. coli* -Phytasen höhere Affinität für IP6 und IP5 im Vergleich zu *A. niger*-Phytasen), welches die Hauptfaktoren darstellen, die die *in vivo*-Effizienz von Phytasen beeinflussen. Eine weitere wichtige Eigenschaft von mikrobielle Phytasen ist eine ausreichende Stabilität gegenüber Hitze, um übliche Futtermittelbehandlungen wie Pelletieren ohne Aktivitätsverlust zu überstehen (Dersjant-Li et al. 2015). In Tabelle 1 sind einige derzeit erhältliche Phytasen und deren Eigenschaften aufgeführt (Lei et al. 2013).

Tabelle 1: Herkunft und Expressionssysteme und Eigenschaften kommerziell verfügbarer Phytasen.

Typ	Protein herkunft	Her- kunft	Expression	pH Op- tima	Temperatur °C	Handelsname
3	<i>A. niger</i>		<i>A. niger</i>	2; 5–5,5	65	Natuphos®
3	<i>A. niger</i>		<i>A. niger, non-recombinant</i>	6,0	-	Allzyme® SSF
3	<i>A. niger</i>		<i>Trichoderma reesei</i>	2,5	-	Finase® P/L
6	<i>E. coli</i>		<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	4,5	55	Phyzyme® XP
6	<i>E. coli</i>		<i>Pichia pastoris</i>	4,5	-	Quantum®
6	<i>E. coli</i>		<i>Trichoderma reesei</i>	-	-	Quantum Blue®
6	<i>E. coli</i>		<i>Pichia pastoris</i>	3,4; 5	58	OptiPhos®
6	<i>Peniophora lycii</i>		<i>Aspergillus oryzae</i>	4,0-4,5	50-55	Ronozyme®
6	<i>Citrobacter braakii</i>		<i>Aspergillus oryzae</i>	-	-	Ronozyme Hiphos®
6	<i>Buttiauxella spp.</i>		<i>Trichoderma reesei</i>	3,5–4,5	60	Axtra® PHY

Ein Vielzahl von Faktoren beeinflussen die *in vivo* Phytase-Aktivität und damit auch die Effizienz der Phytase. Hierzu zählen phytaseabhängige, tierartspezifische sowie rationsabhängige Faktoren. Die Phytaseaktivität wird in Phytaseeinheiten pro g Rohenzym (FTU/g) bzw. pro kg Futtermittel (FTU/kg) angegeben. Eine FTU ist definiert als die Menge Enzym, die 1 µmol Phosphat pro Minute unter Testbe-

dingungen (pH 5,5, 37°C, Substratkonzentration von 5,1 mmol Na-Phytat) freisetzt. Die „wahre“ Phytaseaktivität variiert jedoch beträchtlich zwischen verschiedenen Phytasen aufgrund ihrer unterschiedlichen pH-Optima (Abbildung 2). So weisen *E. coli*-Phytasen eine höhere Aktivität im sauren pH Bereich auf im Vergleich zu einer *A. niger* Phytase. Allerdings können auch verschiedene *E. coli* Phytasen in Abhängigkeit vom Produktionsprozess bezüglich ihrer Aktivität bei gleichem pH sich unterscheiden. Phytasen sind Proteine, welche durch endogene Proteasen hydrolysiert werden können. So konnte z.B *in vitro* festgestellt werden, dass eine *E. coli*-Phytase nach 2h Inkubation mit endogenen Proteasen (Tabelle 2) eine höhere Aktivität und somit Protease-Resistenz aufwies im Vergleich zu einer Phytase von *A. niger* und *P. Lycii* (Dersjant-Li et al. 2015).

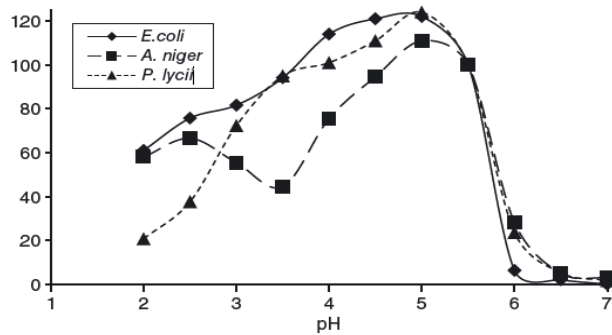


Abbildung 2: Relative Aktivität (%) verschiedener kommerzieller Phytasen im Vergleich zur Aktivität bei pH 5,5 (100 %).

Tabelle 2: Relative Phytaseaktivität (%) verschiedener Phytasen nach 2h-Inkubation mit endogenen Proteasen.

	<i>E. coli</i>	<i>A. niger</i>	<i>P. lycii</i>
Pepsin	76.7a	31.4b	5.42c
Trypsin	23.0a	0.45b	1.25b
Chymotrypsin	65.8a	2.95b	5.77b

Neben den phytaseabhängigen Faktoren gibt es jedoch auch eine Vielzahl von diätetischen Faktoren die die Effizienz der Phytase senken. Hohe Calciumgehalte sowie hohe Dosen von Zink fördern die Bildung unlöslicher Calcium- bzw Zinkkomplexe und reduzieren die Löslichkeit des Phytats, wodurch die Phosphorfreisetzung durch Phytase reduziert wird. Für hohe Gehalte an mineralischen Phosphor wurde beschrieben, dass diese die Phosphorfreisetzung aus Phytinsäure ebenfalls hemmen, möglicherweise aufgrund einer Endprodukthemmung. Auch geringe Phytatgehalte haben eine Reduktion der Effizienz bei gleicher Phytasezulage zur Folge. Hohe Aktivitäten pflanzeigener Phytase reduzieren ebenfalls die Höhe der Phosphorfreisetzung und damit die Effizienz mikrobieller Phytasen. Zulagen von organischen Säuren hingegen steigern die Effizienz der Phytase, da bei niederem pH-Wert die Komplexbildung mit Mineralstoffen abnimmt. Das Einweichen des Futters über einen längeren Zeitraum (> 3h) steigert ebenfalls die *in vivo*-Effizienz, da in der Zeit während des Einweichens und Passage durch den Verdauungstrakt mehr Phosphor freigesetzt wird, als während der alleinigen Passagezeit durch den Verdauungstrakt. Steigende Phytasezulagen führen ebenfalls zu einer Erhöhung der Phosphorfreisetzung, allerdings nimmt die Menge an freigesetzten Phosphor je weiterer Phytaseeinheit ab einer bestimmten Dosierung ab (Lei und Perres 2007).

Im Vergleich zur ersten Generation von Phytasen sind heutige Phytasen deutlich effizienter in Bezug auf die Phosphorfreisetzung. Während Phytasen vom *A niger*-Typ ca. 0,8 g verdaulichen Phosphor bei Standard-Zulagen von 500 FTU beim Schwein freisetzen, liegt dieser Wert bei heutigen Phytasen zwischen 1,2 bis 1,5 g verdaulichen Phosphor laut Herstellerangaben, sodass in der heutigen Schweinemast ab einem Lebendgewicht von ca. 60 kg auf Zulagen von mineralischen Phosphor verzichtet werden kann.

Neben der verbesserten Ausnutzung pflanzlichen Phosphors und dem dadurch bedingten verminderten Eintrag von Phosphor in die Umwelt, wurden in den letzten Jahren weitere positive Effekte aufgrund des Abbaus von Phytinsäure durch zugesetzte Phytasen festgestellt. Wie bereits erwähnt, bilden Mineralstoffe und Spurenelemente mit der Phytinsäure unlösliche Komplexe, welche dazu führen, dass auch die Verdaulichkeit anderer Mineralstoffe wie Ca, Mg, und Zn signifikant vermindert werden (Woyengo et al. 2009, Bikker et al. 2012). Durch die schnelle stufenweise Hydrolyse von Phytinsäure zu Inositolphosphaten mit geringerer Anzahl an Phosphatresten wird diese komplexbildende Eigenschaft der Phytinsäure aufgelöst und die Verdaulichkeit der Mineralstoffe und Spurenelemente verbessert. Die Komplexbildung ist pH-abhängig und nimmt ab Werten  $< 4$  deutlich ab, wie *in vitro*-Untersuchungen zeigen (Maenz et al. 1999). Daneben unterscheiden sich aber auch die Bindungspartner bezüglich der Stärke der Komplexbildung. Bei neutralem pH-Wert ergab sich folgende Rangierung für die Komplexbildung:  $Zn^{++} >> Fe^{++} < Mn^{++} > Fe^{3+}$ ,  $Ca^{++} < Mg^{++}$ .

Nach Yu et al. (2012) weisen IP6 und vermindert auch IP5 eine hohe Neigung auf, mit Proteinen Komplexe zu bilden. *In vitro* führte die Zugabe von 1 mg/ml Phytinsäure (IP6) zu einer nahezu 90 %igen Reduktion der Pepsinaktivität. Eine systematische Auswertung von Versuchen beim Broiler ergaben eine negative Korrelation zwischen dem Phytat-phosphorgehalt und der ilealen Aminosäurenverdaulichkeit (Cowieson et al. 2017a). Des Weiteren zeigte sich, dass ein Phytasezusatz von  $> 1000$  FTU zu einer deutlichen Anstieg der ilealen Aminosäurenverdaulichkeit beim Broiler führt, der vor allem auf verminderte endogene Aminosäureverluste zurückgeführt und zu unterschiedlichen Steigerungen der Aminosäurenverdaulichkeiten führt. Hohe Steigerungen ( $> 4$  Prozentpunkte) ergaben sich für Cystein, Threonin, Serin, Glycin und Valin während für die Verdaulichkeiten von Arginin, Glutamin und Methionin geringere ( $< 3\%$ ) Verbesserungen nachgewiesen wurden. Beim Schwein hingegen fallen die Verbesserungen der ilealen Aminosäurenverdaulichkeiten im Vergleich zum Huhn geringer aus. Höhere ileale Verdaulichkeiten ( $> 3\%$ ) wurden hier für Prolin, Threonin, Glycin und Tryptophan gefunden, während Methionin, Arginin und Cystein den geringsten Anstieg aufwiesen. Die Autoren schließen daraus, dass beim Schwein die verbesserte Aminosäurenverdaulichkeit mehr auf eine verbesserte Verdauung des Futterproteins zurückzuführen ist und weniger auf verminderte endogene Aminosäureverluste (Cowieson et al. 2017b). Weiterhin kann Phytinsäure auch Komplexe mit anderen endogenen Enzymen bilden und dadurch deren Aktivität hemmen. So ist beim Huhn eine verbesserte ileale Stärkeverdaulichkeit nach Zusatz von 500 FTU Phytase nachgewiesen worden (Truong et al 2015), welche auf eine verminderte Komplexbildung von Phytat und Amylase zurückgeführt wird. Verbesserte Aminosäuren und Stärkeverdaulichkeiten wirken sich positiv auf die Energieverdaulichkeiten aus. Sowohl beim Huhn als auch beim Schwein wurden in Abhängigkeit von der Dosierung deutlich verbesserte Energieverdaulichkeiten nach Phytasezulagen festgestellt.

In den letzten Jahren konnte in mehreren Untersuchungen gezeigt werden, dass hohe Dosierungen von Phytase ( $>1000$  FTU) sowohl beim Geflügel (Walk et al 2014) als auch beim Schwein (Zeng et al. 2014, Dersjant-Li et al. 2017), zu einem verbesserten Wachstum und einer verbesserten Futterverwertung führen, wobei noch nicht vollständig geklärt ist, worauf diese beruht. Eine schnelle Dephosphorylierung der Phytinsäure bis zum Myoinositol dürfte vor allem die negativen antinutritiven Eigenschaften der Phytinsäure minimieren bzw. aufheben und somit die naheliegendste Erklärung einer Leistungsverbesserung durch eine erhöhte Nährstoffausnutzung sein.

Phytasen werden heute also nicht mehr nur zum Einsparen von P eingesetzt, sondern sparen in Abhängigkeit von der Dosierung auch andere Nährstoffe ein, wie z. B. Mineralstoffe (Ca, Zn), Rohprotein bzw. Aminosäuren und auch Energie. Unter Berücksichtigung von entsprechenden Versuchen können Äquivalenzwerte für die verschiedenen Nährstoffe in Abhängigkeit von der Dosierung berechnet werden und diese in die Rationsformulierung mit aufgenommen werden und führen so zu Einsparungen bei den Futterkosten sowie einer verbesserten Ausnutzung umweltrelevanter Nährstoffe.

## Referenzen:

- Bikker P., Jongbloed A. W., Thissen J. T. N. M. (2012). Meta-analysis of effects of microbial phytase on digestibility and bioavailability of copper and zinc in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:134-136.
- Cowieson A.J., Ruckebusch J.-P., Sorbara J.O.B., Wilson J.W., Guggenbuhl P., Roos F.F. (2017a). A systemic view on the effect of phytase on ileal amino acid digestibility in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 225:182-94.
- Cowieson A.J., Ruckebusch J.-P., Sorbara J.O.B., Wilson J.W., Guggenbuhl P., Tanadini L., Roos F. F. (2017b) A systematic view on the effect of microbial phytase on ileal amino acid digestibility in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:138–149
- Dersjant-Li Y., Awati A., Schulze H., Partridge G. (2015). Phytase in Non-Ruminant Animal Nutrition: A Critical Review on Phytase Activities in the Gastrointestinal Tract and Influencing Factors. *J. Sci. Food Agric.* 95:878-896.
- Dersjant-Li Y., Wealleans A.L., Barnard L.P., Lane S. (2017) Effect of increasing *Buttiauxella* phytase dose on nutrient digestibility and performance in weaned piglets fed corn or wheat based diets. *Anim. Feed Sci. Tech.* 234:101-109.
- Humer E., Schwarz C., Schedle K. (2014). Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 99:605-625.
- Knowlton K., Radcliffe J., Novak C., Emmerson D. (2004). Animal management to reduce phosphorus losses to the environment. *J. Anim. Sci.* 82:E173–E195.
- Lei X.G., Porres, J.M. (2007). Phytase and Inositol Phosphates in Animal Nutrition: Dietary Manipulation and Phosphorus Excretion by Animals. In: *Inositol Phosphates: LINKING AGRICULTURE AND THE ENVIRONMENT* (Eds: Turner B. L., Richardsen A.E, Mullaney E.J.) CAB International Wallingford UK, 133-149.
- Lei X.G., Weaver J.D., Mullaney E., Ullah A.H., Azain M.J. (2013). Phytase: A new life of an old enzyme. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1: 283-309.
- Maenz D.D., Engele-Schan C. M., Newkirk R. W., Classen H. L. (1999). The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase-susceptible forms of phytic acid in solution of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 81:177–192.
- Rodehutschord M., Abel H.J., Friedt W., Wenk C., Flachowsky G., Ahlgrimm H.-J., Johnke B., Kühl R., Breves G. (2002). Consequences of the Ban of By-Products from Terrestrial Animals in Livestock Feeding in Germany and The European Union: Alternatives, Nutrient and Energy Cycles, Plant Production, and Economic Aspects, *Arch. Anim. Nutr.* 56:67-91.
- Truong H.H., Yu S., Peron A., Cadogan D.J., Khoddami A., Roberts T.H., Liu S.Y., Selle P.H. (2014). Phytase supplementation of maize-, sorghum- and wheat-based broiler diets with identified starch pasting properties influences phytate (IP6) and sodium jejunal and ileal digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198:248–256.
- Walk C. L., Santos T. T., Bedford M. R. (2014). Influence of superdoses of a novel microbial phytase on growth performance, tibia ash, and gizzard phytate and inositol in young broilers. *Poult. Sci.* 93:1172–1177.
- Woyengo T.A., Cowieson A.J., Adeola O., Nyachoti C.M. (2009) Ileal digestibility and endogenous flow of minerals and amino acids: responses to dietary phytic acid in piglets. *Br. J. Nutr.* 102:428-433

Yu S., Cowieson A.J., Gilbert C., Plumstead P., Dalgaard S. (2012). Interactions of phytate and myo-inositol phosphate esters (IP1-5) including IP5 isomers with dietary protein and iron and inhibition of pepsin. *J. Anim. Sci.* 90:1824-1832.

Zeng Z. K., Wang D., Piao X. S., Li P. F., Zhang H. Y., Shi C. X., Yu S. K. (2014). Effects of Adding Super Dose Phytase to the Phosphorus-deficient Diets of Young Pigs on Growth Performance, Bone Quality, Minerals and Amino Acids Digestibilities. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 27:237-246.

# Weniger Salz, Zucker und Fett – ein Beitrag zur Reduzierung von Zivilisationskrankheiten

Jan Fritsche

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

Zivilisationskrankheiten wie nichtübertragbare Krankheiten (noncommunicable diseases, NCDs) sind weltweit die häufigste Todesursache und eine der größten gesundheitlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Im September 2011 wurde auf der Generalversammlung der Vereinten Nationen in New York eine politische Erklärung abgegeben, um die globalen und nationalen Maßnahmen zur Verhinderung und Kontrolle von nichtübertragbaren Krankheiten zu verstärken (1). Im Rahmen dieser UN-Erklärung wurde der **Weltgesundheitsorganisation (WHO)** eine Führungsrolle eingeräumt und der globale WHO Aktionsplan 2013-2020 zur Prävention und Bekämpfung von NCDs (Global NCD) im Rahmen der Weltgesundheitsversammlung 2013 verabschiedet (1-3). Der Aktionsplan umfasst einen globalen Überwachungsrahmen, der auch neun bis 2025 zu erreichende freiwillige globale Ziele beinhaltet (2). Diese Ziele stimmen mit denen für nichtübertragbare Krankheiten überein, die in der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung enthalten sind. Die Ziele wurden sowohl auf dem Gipfel der Vereinten Nationen im September 2015 für nachhaltige Entwicklung angenommen, als auch auf dem 13. Allgemeinen Arbeitsprogramm der WHO 2019–2023 (GPW13) verabschiedet, welches im Mai 2018 von der

Weltgesundheitsversammlung beschlossen wurde (4-7). Das erste globale Ziel ist eine relative

Senkung der Gesamtsterblichkeit um 25% bei den vier wichtigsten NCDs (Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, Diabetes und chronische Atemwegserkrankungen) (2). Weitere Ziele beziehen sich auf die Verringerung der NCD-Risikofaktoren, einschließlich Verhaltensrisikofaktoren (schädlicher Alkoholkonsum, körperliche Inaktivität, Salz-/ Natriumzufuhr und Tabakkonsum) sowie auf Risikofaktoren für den Stoffwechsel (erhöhter Blutdruck, erhöhter Blutzucker und Fettleibigkeit) (2).

Eine hohe Natriumaufnahme führt nachweislich zum Anstieg des Blutdrucks (8). Bluthochdruck stellt wiederum einen der wichtigsten Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen dar (9). Der Großteil des Natriums wird alimentär in Form von Kochsalz aufgenommen, das in westlichen Ländern vorrangig über verarbeitete Lebensmittel konsumiert wird (10). In vielen Ländern liegt die durchschnittliche Natriumaufnahme über der von der WHO empfohlenen maximalen Zufuhr von 2 g (5 g NaCl) pro Tag (2). Laut einer im Jahr 2010 von der Europäischen Kommission durchgeführten Studie lag der tägliche Salzkonsum in den meisten EU-Mitgliedsstaaten zwischen 8 und 12 g (11). Die WHO schätzt, dass jährlich 2,5 Mio. Todesfälle verhindert werden könnten, wenn die globale Salzaufnahme auf das empfohlene Maß reduziert würde (12). Daher haben sich die WHO-Mitgliedsstaaten im Jahr 2013 auf das freiwillige Ziel geeinigt, die durchschnittliche Salzaufnahme in der Bevölkerung weltweit bis 2025 um 30% zu reduzieren (2).

Das **Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)** hat im Dezember 2018 eine nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten verabschiedet (13). Basis der Strategie bildet eine Grundsatzvereinbarung zwischen Politik und Lebensmittelwirtschaft, nach der die Lebensmittelwirtschaft sich freiwillig verpflichtet, messbare Beiträge zur Förderung einer gesünderen Ernährung in Deutschland zu leisten.

Die Nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten verfolgt die übergeordneten Ziele, eine gesunde Lebensweise zu fördern, den Anteil der Übergewichtigen

und Adipösen in der Bevölkerung, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen, zu senken und die Häufigkeit von Krankheiten, die durch Ernährung mitbedingt werden, zu verringern (13).

Die Strategie baut auf dem wissenschaftlichen Grundkonsens auf, dass die Entstehung von nichtübertragbaren Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Diabetes mellitus Typ 2 multikausal bedingt ist und dass ein übermäßiger Konsum von Zucker, bestimmten Fetten und Salz das Risiko für diese Krankheiten erhöhen kann. Gleichzeitig berücksichtigt die Strategie, dass der Konsum von Zucker, Fetten und Salz in Deutschland trotz umfangreicher Aufklärungs- und Informationsmaßnahmen und bereits erreichter Fortschritte über den wissenschaftlichen Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung liegt. Ziel sollte eine ausgewogene Energiezufuhr und Nährstoffversorgung der Bevölkerung sein (13).

Der Strategieprozess wird durch ein umfangreiches, **wissenschaftliches Monitoring** begleitet, welches vom Max Rubner-Institut, einer BMEL-Ressortforschungseinrichtung mit dem Schwerpunkt des gesundheitlichen Verbraucherschutzes im Bereich Ernährung und Lebensmittel, durchgeführt wird. Das Monitoring wird einerseits auf Produktebene darüber Auskunft geben, in welchem Umfang sich die Zucker-, Fett- und Salzanteile sowie der Energiegehalt in Fertigprodukten verändern. Andererseits beobachtet das Monitoring, inwiefern die Strategie Auswirkungen zeigt auf das Ernährungsverhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher. Das Ernährungsverhalten kann neben zahlreichen anderen Faktoren den Gesundheitszustand der Bevölkerung mittelbar mit beeinflussen (13).

Die Verbände der Lebensmittelwirtschaft werden die Grundsatzvereinbarung durch die Abstimmung detaillierter Prozess- und Zielvereinbarungen mit ihren Mitgliedsunternehmen konkretisieren und dies transparent machen.

In Abhängigkeit der Produkte und Produktkategorien können **Reformulierungen**, also Rezepturänderungen, zielführend sein. Aber auch weitere Maßnahmen kommen in Betracht, beispielsweise Innovationen bei der Herstellungstechnologie. Der gewählte Weg ist europaweit einzigartig und auf drei Kernelemente fokussiert (13):

- **Gemeinsam:** Die Strategie baut auf der Überzeugung auf, dass eine nachhaltige Veränderung des Ernährungsverhaltens nur das Ergebnis einer gemeinsamen Anstrengung sein kann, d.h. einer Zusammenarbeit von Beteiligten der Bundesregierung, der Bundesländer sowie von Verbänden aus den Bereichen Ernährung, Gesundheit, Lebensmittelwirtschaft, Verbraucherschutz und Wissenschaft.
- **Fokussiert:** Die Strategie verfolgt eine klare Schwerpunktsetzung. Die Konzentration auf den Bereich der Fertigprodukte, die Teil eines modernen Lebensstils geworden sind und nicht selten einen hohen Gehalt an Zucker, Fetten und Salz aufweisen, adressiert eine Schlüsselstelle, um die Ernährung im Alltag nachhaltig zu verbessern. Die Definition von klar umrissenen weiteren Handlungsfeldern ermöglicht eine zielgerichtete Steuerung.
- **Innovativ:** Die Strategie schafft und stärkt Bedingungen für neue, innovative Ansätze in der Lebensmittelproduktion, um die Reduktionsziele zu erreichen. Damit wird nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Lebensmittelwirtschaft insgesamt gefördert. Von der Innovationsförderung sollen insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen sowie das Lebensmittelhandwerk profitieren.



Die dritte starke Säule der Strategie – neben Reformulierung und Monitoring – umfasst den **Bereich der Aufklärung und Weiterbildung**. Zucker-, fett- und salzreduzierte Produkte können nur dann einen positiven Effekt auf das Ernährungsverhalten der Bevölkerung entfalten, wenn die Verbraucherinnen und Verbraucher sie zu einem Bestandteil einer insgesamt ausgewogenen Ernährung machen. Die Strategie setzt daher starke Impulse, um sowohl auf Produzenten- als auch auf Verbraucherseite das Bewusstsein für gesunde Ernährung zu schärfen. Ganz besonders im Fokus stehen dabei Kinder und Jugendliche, die zu den besonders vulnerablen Bevölkerungsgruppen gehören (13).

Die Reduktion von Zucker, Fetten und Salz kann neben dem Geruch und Geschmack der Produkte auch deren Herstellung, ihre Konsistenz und Haltbarkeit beeinflussen. Ebenso spielt die **Frage der Verbraucherakzeptanz** eine wesentliche Rolle. Daher erhalten Maßnahmen der Forschungs- und Innovationsförderung bis hin zu Modell- und Demonstrationsvorhaben einen besonderen Stellenwert. Speziell die Umsetzbarkeit von neuartigen Methoden und Verfahren zur Reduktion von Zucker, Fetten und Salz in die Praxis soll wissenschaftlich unter anderem durch das Max Rubner-Institut begleitet werden. Auch die Wirtschaft hat zugesagt, ihre langjährige Expertise zu teilen, um die Effektivität und Praxisrelevanz der verschiedenen Maßnahmen zu gewährleisten (13).

Das BMEL wird zur Begleitung der Strategie zusätzliche Forschungs- und Innovationsvorhaben bis zum Jahr 2025 durch Prioritätensetzung im Rahmen der verfügbaren Haushaltsansätze für Forschung und Innovation erhebliche Mittel zur Verfügung stellen. Startpunkt sind mehrere Bekanntmachungen zur Förderung von Innovationsvorhaben, bei denen Wissenschaft und Wirtschaft – in besonderem Maße Handwerksunternehmen sowie KMU – gemeinsam innovative Lösungswege im Sinne der Strategie entwickeln (13).

Derzeit forschen an vier Standorten sechs **MRI-Institute im Bereich der Reformulierung von Lebensmitteln** zu folgenden Themenfeldern:

- Fettreduktion bei Siedegebäcken (MRI Detmold)
- Oleogele statt trans-Fett bei Backwaren (MRI Detmold)
- Specksubstitution bei Rohwürsten (MRI Kulmbach)
- Salzreduktion bei Fischprodukten (MRI Kiel)
- Salzreduktion bei Schnittkäse (MRI, Kiel)
- Salzreduktion bei Gemüsesäften und –pürees (MRI, Karlsruhe)
- Ballaststoffreiches Frühstück (MRI Karlsruhe, KIT)
- Steigerung der Süßkraft bei Milcherzeugnissen (MRI Kiel)

In den **Kieler MRI-Instituten** - dem Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch und dem Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie - werden derzeit folgende Forschungsprojekte bearbeitet:

## Salzreduktion bei Fischerzeugnissen

Obwohl Fischprodukte nicht die Hauptaufnahmequelle für alimentäres Natrium darstellen, existieren wirtschaftlich relevante Fischprodukte auf dem europäischen Markt, die relativ hohe Salzgehalte aufweisen, z.B. Matjes nordische Art und kaltgeräucherter Lachs. Kaltgeräucherter Lachs enthält typischerweise zwischen 2 und 4% Salz, Matjes nordische Art in der Regel über 6%, sofern keine Konservierungsstoffe eingesetzt werden. Sowohl kaltgeräucherter Lachs als auch Matjes nordische Art werden ohne Wärmeeinwirkung hergestellt. Dies bedeutet, dass Mikroorganismen während der Verarbeitung nicht vollständig inaktiviert werden und das Salz über seine Senkung der Wasseraktivität die wichtigste Barriere gegen mikrobielles Wachstum darstellt (14). Daher muss die Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit bei der Salzreduktion in diesen Produkten ganz besondere Aufmerksamkeit erfahren.

Salz beeinflusst jedoch nicht nur die Produktsicherheit, sondern auch den Geschmack, die Farbe und die Textur (14). Salzaustauschstoffe wie Kalium-, Magnesium- und Calciumsalze können unerwünschte Fehlnoten verursachen, da sie neben salzig auch als bitter, metallisch, sauer oder adstringierend wahrgenommen werden können (14). Eine Reformulierung kann nur dann als erfolgreich betrachtet werden, wenn mikrobielle Gefahren beherrscht werden und die von den Verbraucherinnen und Verbrauchern erwartete Produktqualität erhalten bleibt. Außerdem müssen Material- und Verarbeitungskosten berücksichtigt werden (15).

Ziel einer am MRI-Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch durchgeführten Studie war die Bewertung des Einflusses einer Natriumreduktion durch den Einsatz von Salzaustauschstoffen auf die Sicherheit und Qualität von zwei beliebten deutschen Fischprodukten, kaltgeräucherten Lachs und Matjes nordische Art. Die natriumreduzierten Fischmuster wurden umfassend analysiert, indem diverse chemisch-physikalische, mikrobiologische und sensorische Parameter während der Lagerung unter praxisüblichen Bedingungen untersucht und die Akzeptanz der Muster bei Konsumentinnen und Konsumenten ermittelt wurde. Durch das Zusammenführen von objektiven sensorischen Daten, die mithilfe eines Expertenpanels generiert wurden, und hedonischen Bewertungen von ungeschulten Verbraucherinnen und Verbrauchern liefert die vorliegende Studie einen holistischen wissenschaftsbasierten Ansatz zur Reformulierung von Fischerzeugnissen (16).

## Salzreduktion bei gereiftem Käse

Versuche zur Verringerung und Substitution von NaCl bei gereiftem Käse wurden in den vergangenen Jahrzehnten zahlreich beschrieben. Ende der 1980er Jahre wurden an der damaligen Bundesanstalt für Milchforschung in Kiel institutsübergreifende Arbeiten zur Reduzierung des Kochsalzes in Schnittkäse durchgeführt (17,18). Ziel war es, einen sensorisch akzeptablen naturgereiften Edamer Käse mit maximal 0,45 g Na/100 g herzustellen. Um diesen Wert zu erreichen, wurde die Zeit im Salzbad verkürzt, während keinerlei ergänzende Aroma- oder Reifungskulturen verwendet wurden. Die Ergebnisse dieser Pilotstudie zeigten, dass es möglich war, einen solchen Edamer herzustellen, der geschmacklich den Qualitätsanforderungen an eine Standardsorte genügte und eine befriedigende Haltbarkeit über 10 Wochen aufwies. Versuche, Natrium ganz oder teilweise durch Kalium zu ersetzen, waren bislang nicht zielführend. Bei einer Literaturrecherche von Hoffmann (19) wurden fast 50 weltweit publizierte Arbeiten aus den Jahren 1982-2013 analysiert, die sich mit der Substitution von NaCl durch KCl beschäftigten. Inzwischen sind weitere Arbeiten zur Kochsalzverringerung bzw. -substitution erschienen, überwiegend zum Hartkäse Cheddar, bei dem der Bruch trocken gesalzen wird (20-27). Weitere Arbeiten über Schnittkäse wurden zu Gouda (28), zu dänischem Samsøe (29) und zu Tybo (30) publiziert. Bei der Studie zu Gouda (28) wurde ein Drittel des Natriums im Salzbad durch KCl substituiert und neben den üblichen Kulturen noch *Lb. helveticus* und *Lb. paracasei* eingesetzt. Sensorische

Unterschiede wurden zwar wahrgenommen, waren aber akzeptabel. Die Natriumgehalte der Produktmuster mit und ohne KCl wurden aber nicht genannt. Insgesamt zeigte sich, dass die sehr komplexe Rolle des Natriums und die große Vielfalt an Käsesorten mit ihren unterschiedlichen Herstellungsverfahren und Produkteigenschaften anspruchsvolle Herausforderungen bei der Salzreduktion darstellen.

Auch dort, wo potentielle Anwendungen für KCl gezeigt wurden, ist die Überführung in die industrielle Praxis (salzarme Varianten von bestehenden Käsesorten oder auch neue Käseprodukte) technisch sehr anspruchsvoll. Flavour-Fehler, insbesondere Bitterkeit und ein Verlust des Salzgeschmacks, bleiben ein sensorisches Problem.

Daher müssten neue Forschungsansätze auch versuchen, eine Maskierung des KCl-spezifischen Flavours vorzunehmen. Im Handel gibt es sog. Flavour-Enhancer bzw. KCl-Masker, deren Wirkungen aber bei gereiftem Käse wissenschaftlich noch nicht geprüft wurden. Insbesondere die Kombination technologischer, chemischer und mikrobiologischer Stellschrauben zur industriellen Produktion salzreduzierter Käse mit sensorischer Akzeptanz wurde bisher nicht beschrieben. Bei der Verwendung von reinen Salzen wie NaCl, KCl oder ihren Kombinationen aus dem Chemikalienhandel werden keine Schutzrechte verletzt. Kommerziell erhältliche Mineralstoffmischungen, „Flavour Enhancer“ bzw. –„maskers“ oder Mischungen aus beiden sind dagegen geschützt, können aber für Versuche und spätere Produktionen bezogen werden. Gleiches gilt für Reifungs- und Aromakulturen zur Käseherstellung, die von den einschlägigen Herstellern angeboten werden.

### **Süßkraftverstärkte Milchprodukte**

Poutanen et al. (31) haben Lactose-hydrolysierten Süßmolken Sirup (25% Glucose, 25% Galactose, 9% Lactose) als Substrat zur Isomerisierung mit Glucoseisomerase (GI) eingesetzt. Die relative Süßkraft des resultierenden Sirups (Grad der Isomerisierung DI = 25-36%) betrug etwa 80% von der einer Saccharoselösung mit gleicher Konzentration. Chiu und Kosikowski (32) nutzten Lactose-hydrolysiertes UF-Permeat (6,9% Glucose, 6,9% Galactose), das aus rekonstituiertem Süßmolkenpulver hergestellt worden war, als Substrat. Sie stellten fest, dass die Süßkraft des Sirups nach Isomerisierung (DI 50-52%) bei gleicher Konzentration mit der einer Saccharoselösung vergleichbar war. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Studien haben Abril und Stull (33) das UF-Permeat von Sauermolke als Substrat eingesetzt. Dabei resultierte die zeitgleiche Zugabe der  $\beta$ -Galactosidase und Glucoseisomerase in einem Lactosehydrolysegrad von 85% DH und einem DI von 52,6%.

Vor diesem Hintergrund sollte geprüft werden, ob ein bi-enzymatisches Verfahren, bestehend aus  $\beta$ -Galactosidase und Glucoseisomerase, zur Herstellung von süßkraftverstärkten Joghurt- und Milchmischerzeugnissen eingesetzt und in die Verfahrensabläufe zur Produktion dieser Milcherzeugnisse integriert werden kann. Hierfür sollten geeignete Parameter der enzymtechnologischen Umsetzung erarbeitet und die Kinetik einer möglichen Endprodukthemmung der GI untersucht werden, um einen möglichst effektiven Umsatz der Lactose in Glucose, Galactose und Fructose zu erzielen. Anschließend sollten prozessoptimierte Joghurt- und Puddingerzeugnisse im Technikum und durch Kooperationspartner im Industriemaßstab hergestellt und das sensorische Profil der Produkte im Vergleich mit dem von herkömmlichen Erzeugnissen geprüft werden.

## Referenzen:

- Vereinte Nationen (2012). United Nations General Assembly Resolution A/RES/66/2. Political Declaration of the High-level Meeting of the General Assembly on the Prevention and Control of Non-communicable Diseases, New York. [https://digitallibrary.un.org/record/720106/files/A\\_RES\\_66\\_2-EN.pdf](https://digitallibrary.un.org/record/720106/files/A_RES_66_2-EN.pdf). Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2013). Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020, Genf. [http://www.who.int/nmh/events/ncd\\_action\\_plan/en/](http://www.who.int/nmh/events/ncd_action_plan/en/). Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2013). World Health Assembly Resolution WHA66.10. Follow-up to the Political Declaration of the High-level Meeting of the General Assembly on the Prevention and Control of Non-communicable Diseases, Genf. [http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA66/A66\\_R10-en.pdf?ua=1](http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA66/A66_R10-en.pdf?ua=1). Zugriff am 26. März 2019
- Vereinte Nationen (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, New York. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. Zugriff am 26. März 2019
- Vereinte Nationen (2015). United Nations General Assembly Resolution A/RES/70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, New York. [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E). Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2018). Thirteenth General Programme of Work, 2019–2023, Genf. <https://www.who.int/about/what-we-do/thirteenth-general-programme-of-work-2019-2023>. Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2018). World Health Assembly Resolution WHA71.1. Thirteenth General Programme of Work, 2019–2023, Genf. [http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA71/A71\\_R1en.pdf](http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA71/A71_R1en.pdf). Zugriff am 16. August 2018
- Aburto, N.J., Ziolkovska, A., Hooper, L., Elliott, P., Cappuccio, F.P., Meerpohl, J.J. (2013). Effect of lower sodium intake on health: systematic review and meta-analyses. *BMJ*, 346, f1326.
- Mozaffarian, D., Fahimi, S., Singh, G.M., Micha, R., Khatibzadeh, S., Engell, R.E., Lim, S., Danaei, G., Ezzati, M., Powles, J. (2014). Global sodium consumption and death from cardiovascular causes. *NEJM*, 371, 624-634.
- Allison, A., Fouladkhah, A. (2018). Adoptable Interventions, Human Health, and Food Safety Considerations for Reducing Sodium Content of Processed Food Products. *Foods*, 7, 16.
- Europäische Kommission (2014). Survey on Member States' Implementation of the EU Salt Reduction Framework, Brüssel. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail//publication/df7ef17e-d643-4593-94b3-84bacfa7a76a>. Zugriff am 12. Januar 2019
- WHO (2016). Salt reduction, Genf. <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/salt-reduction>. Zugriff am 12. Januar 2019
- BMEL (2018). Nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten, Bonn. [https://www.bmel.de/DE/Ernaehrung/\\_Texte/ReduktionsstrategieZuckerSalz-Fette.html](https://www.bmel.de/DE/Ernaehrung/_Texte/ReduktionsstrategieZuckerSalz-Fette.html). Zugriff am 18. März 2019
- Barat, J.M., Pérez-Esteve, E., Aristoy, M.C., Toldrá, F. (2013). Partial replacement of sodium in meat and fish products by using magnesium salts. A review. *Plant Soil*, 368, 179188.

- Hoppu, U., Hopia, A., Pohjanheimo, T., Rotola-Pukkila, M., Mäkinen, S., Pihlanto, A., Sandell, M. (2017). Effect of Salt Reduction on Consumer Acceptance and Sensory Quality of Food. *Foods*, 6, 103.
- Giese, E., Meyer, C., Ostermeyer, U., Lehmann, I., Fritsche, J. (2019). Sodium reduction in selected fish products by means of salt substitutes. *Eur Food Res Technol* (Manuskript angenommen).
- Barth, C., Krusch, U., Meisel, H., Prokopek, D., Schlimme, E., de Vrese, M. (1989). Möglichkeiten und Grenzen des Kochsalzgehaltes in Schnittkäse. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 41, 105-136.
- Prokopek, D., Barth, C., Klobes, H., Krusch, U., Meisel, H., Schlimme, E. et al. (1990). Reduzierung des Kochsalzgehaltes in Edamer Käse bei industrieller Herstellung. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 42, 565-596.
- Hoffmann, W. (2014). Partial substitution of sodium chloride by potassium chloride in natural cheeses. *IDF, SI 1401*, 74-83.
- Ganesan, B., Brown, K., Irish, D.A., Brothersen, C., McMahon, D.J. (2014). Manufacture and sensory analysis of reduced- and low-sodium Cheddar and Mozzarella cheeses. *J Dairy Sci*, 97, 1970-1982.
- Hystead, E., Diez-Gonzalez, F., Schoenfuss, T.C. (2013). The effect of sodium reduction with and without potassium chloride on the survival of *Listeria monocytogenes* in Cheddar cheese. *J Dairy Sci*, 96, 6172-6185.
- Khetra, Y., Kanawjia, S.K., Puri, R. (2016). Selection and optimization of salt replacer, flavour enhancer and bitter blocker for manufacturing low sodium Cheddar cheese using response surface methodology. *LWT - Food Sci Technol*, 72, 99-106.
- Lu, Y., McMahon, D.J. (2015). Effects of sodium chloride salting and substitution with potassium chloride on whey expulsion of Cheddar cheese. *J Dairy Sci*, 98, 78-88.
- McCarthy, C.M., Wilkinson, M.G., Kelly, P.M., Guinee, T.P. (2015). Effect of salt and fat reduction on the composition, lactose metabolism, water activity and microbiology of Cheddar cheese. *Dairy Sci Technol*, 95, 587-611.
- McCarthy, C.M., Kelly, P.M., Wilkinson, M.G., Guinee, T.P. (2017). Effect of fat and salt reduction on the changes in the concentrations of free amino acids and free fatty acids in Cheddar-style cheeses during maturation. *J Food Compos Anal*, 59, 132-140.
- McMahon, D.J., Oberg, C.J., Drake, M.A., Farkye, N., Moyes, L.V., Arnold, M.R. et al. (2014). Effect of sodium, potassium, magnesium, and calcium salt cations on pH, proteolysis, organic acids, and microbial populations during storage of full-fat Cheddar cheese. *J Dairy Sci*, 97, 4780-4798.
- Murtaza, M.A., Huma, N., Sameen, A., Murtaza, M.S., Mahmood, S., Mueen-ud-Din, G. et al. (2014). Texture, flavor, and sensory quality of buffalo milk Cheddar cheese as influenced by reducing sodium salt content. *J Dairy Sci*, 97, 6700-6707.
- Ruyssen, T., Janssens, M., Van Gasse, B., Van Laere, D., Van der Eecken, N., De Meerleer, M. et al. (2013). Characterisation of Gouda cheeses based on sensory, analytical and high-field <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance spectroscopy determinations: Effect of adjunct cultures and brine composition on sodium-reduced Gouda cheese. *Int Dairy J*, 33, 142-152.
- Sondergaard, L., Ryssel, M., Svendsen, C., Hoier, E., Andersen, U., Hammershoj, M. et al. (2015). Impact of NaCl reduction in Danish semi-hard Samsøe cheeses on proliferation and autolysis of DL-starter cultures. *Int J Food Microbiol*, 213, 59-70.

Sihufe, G.A., De Piante Vicin, D.A., Marino, F., Ramos, E.L., Nieto, I.G., Karlen, J.G. et al. (2018). Effect of sodium chloride reduction on physicochemical, biochemical, rheological, structural and sensory characteristics of Tybo cheese. *Int Dairy J*, 82, 11-18.

Poutanen, K., Linko, Y.Y., Linko, P. (1978). Enzymatic isomerisation of glucose in hydrolysed whey lactose syrup. *Nordeuropäisk Mejerie Tidsskrift*, 78, 90-95.

Chiu, C.P., Kosikowski, F.V. (1986). Conversion of glucose in lactose-hydrolyzed whey permeate to fructose with immobilized glucose isomerase. *J Dairy Sci*, 69, 959-964.

Abril, J.R., Stull, J.W. (1989). Lactose hydrolysis in acid whey with subsequent glucose isomerisation. *J Sci Food Agric*, 48, 511-514.

# Einfluss des *Energy Flux* auf die Appetitregulation

Franziska A Hägele<sup>1</sup>, Franziska Büsing<sup>1</sup>, Alessa Nas<sup>2</sup>, Anja Bosy-Westphal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; <sup>2</sup>Institut für Ernährungsmedizin, Universität Hohenheim, Stuttgart

## Einleitung

Der *Energy Flux* ist ein modernes Konzept zur Erklärung der Körpergewichtsregulation. Er kann auch als „Energieumsatz“ oder „Energiedurchfluss“ bezeichnet werden und beschreibt das Niveau der Energiebilanz. Ein niedriger *Energy Flux* zeichnet sich durch einen geringen Energieverbrauch durch Bewegung und eine korrespondierende geringe Energieaufnahme über die Nahrung aus (Poehlman and Danforth 1991). Dementsprechend ist ein hoher *Energy Flux* durch einen hohen Energieverbrauch über Bewegung mit dazu angepasster hoher Energieaufnahme über die Nahrung gekennzeichnet. Eine Veränderung des *Energy Flux* ist daher unabhängig von Veränderungen der Energiebilanz. Folglich muss für Untersuchungen des Einflusses des *Energy Flux* eine konstante Energiebilanz gewährleistet werden.

Es wird postuliert, dass der Appetit bei einem hohen *Energy Flux* besser an den Energieverbrauch angepasst ist als bei niedrigem *Energy Flux* (Mayer, Roy, and Mitra 1956). Dieser Hypothese nach wäre eine Gewichtszunahme deshalb nur durch ausreichende körperliche Aktivität zu verhindern. In einer amerikanischen Studie wurde gezeigt, dass es an Wochenenden regelmäßig zu einer Gewichtszunahme kommt, die durch einen verringerten Energieverbrauch und eine erhöhte Energieaufnahme im Vergleich zu Wochentagen bedingt ist (Racette et al. 2008). Gleiches wurde auch für die Zeit über die Weihnachtsfeiertage festgestellt (Schoeller 2014). Diese Ergebnisse würden die oben genannte Hypothese bestätigen. Wenn der Energieverbrauch am Wochenende oder über die Feiertage absinkt, scheint der Appetit und damit die Nahrungsaufnahme nicht in gleichem Maße zu sinken, wodurch es zu einer positiven Energiebilanz und damit zur Gewichtszunahme kommt.

Die Appetitregulation findet im Hypothalamus statt, wo verschiedene Signale aus der Peripherie ankommen. Das können zum einen neuronale Signale sein, wie z.B. Informationen der Dehnungsrezeptoren des Magens, die die aktuelle Magenfüllung rückmelden. Zum anderen sind es endokrine Signale, die von Appetithormonen vermittelt werden, wie beispielsweise von Ghrelin, einem appetitsteigernden Hormon (Wren et al. 2001) oder dem sättigungsvermittelnden Hormon GLP-1 (Flint et al. 1998). Alle eingehenden Informationen werden dann im Hypothalamus integriert und die Nahrungsaufnahme bzw. der Energieverbrauch entsprechend angepasst.

In einer Interventionsstudie wurde deshalb untersucht, ob der *Energy Flux* einen Einfluss auf die Appetitregulation hat. Genauer gesagt, ob bei einem hohen im Vergleich zu einem niedrigen *Energy Flux* die Spiegel des appetitfördernden Hormons Ghrelin und der subjektive Hunger sinken und die Spiegel des sättigungsfördernden Hormons GLP-1 steigen obwohl die Energiebilanz unverändert ist und damit die Appetitregulation durch einen hohen *Energy Flux* verbessert werden kann.

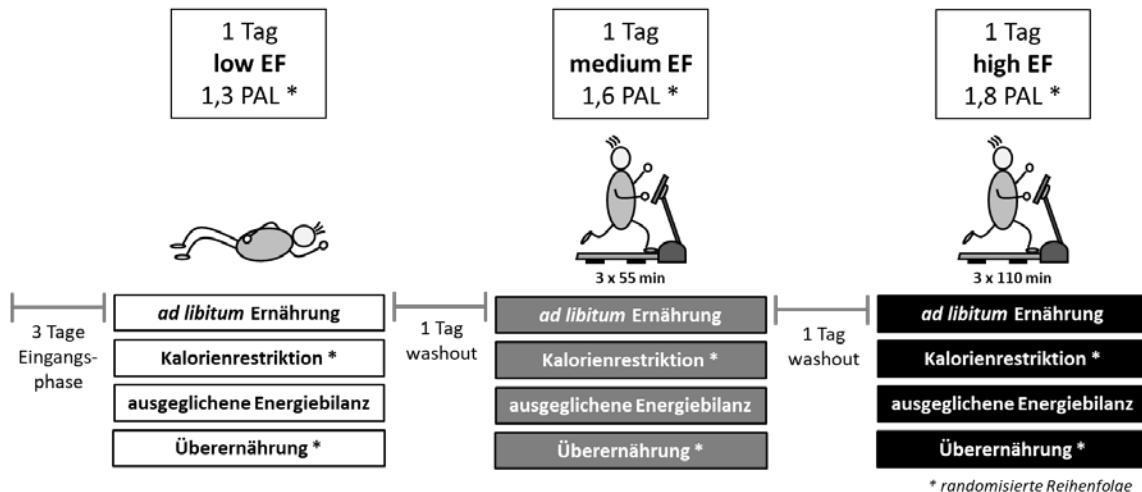
## Methoden

An einer kontrollierten randomisierten cross-over Studie in einem Raumkalorimeter haben 16 gesunde Erwachsene (3 Frauen und 13 Männer) im Alter von  $25,1 \pm 3,9$  Jahren mit einem Body Mass Index von  $24,0 \pm 3,2$  kg/m<sup>2</sup> teilgenommen. Fünf der Probanden waren übergewichtig, einer adipös. Das Studienprotokoll ist in **Abb.1** schematisch dargestellt. Nach einer dreitägigen Eingangsphase wurden drei *Energy Flux* -Niveaus (*Physical Activity Level* (PAL): 1,3 niedrig; 1,6 mittel; 1,8 hoch) über 24 Stunden

untersucht, die jeweils durch einen *Washout*-Tag getrennt waren. Erreicht wurden die verschiedenen PALs durch unterschiedlich lange Bewegung bei geringer Intensität auf einem Laufband (4 km/h; niedrig 0 min; mittel 3 x 55 min; hoch 3 x 110 min). Alle Aktivitätsniveaus wurden jeweils bei ausgeglichener Energiebilanz, Kalorienrestriktion und Überernährung (100%; 75% und 125% des Energiebedarfs), sowie bei *ad libitum* Energiezufuhr analysiert. Folglich war jeder Proband über vier Wochen an der Studie beteiligt. Während der *ad libitum*-Phase wurden die Energieaufnahme und der individuelle Energieverbrauch erfasst. Der ermittelte Energieverbrauch wurde für die individuelle Ernährung während der folgenden drei Energie-bilanzen zu Grunde gelegt. Die *Energy Flux* -Niveaus innerhalb einer Energiebilanz, sowie die Reihenfolge der Energiebilanzen waren randomisiert. Die Appetitregulation wurde objektiv und subjektiv erfasst: Objektiv über die mehrmalige Bestimmung der Appetithormone Ghrelin und GLP-1 (über den Tag während ausgeglichener Energiebilanz, Kalorienrestriktion und Überernährung). Sowie über die Rückwaage der Mahlzeiten während der *ad libitum* Energieaufnahme und damit der Erfassung der Energiebilanz. Die subjektive Erfassung von Hunger und Appetit erfolgte mittels Visueller Analogskalen ebenfalls mehrmals über den Tag.

Da es für die Untersuchung von verschiedenen *Energy Flux* -Niveaus entscheidend ist, dass die Energiebilanz konstant bleibt, wurde die Studie in einem Raumkalorimeter durchgeführt. Der 9 m<sup>2</sup> große Raum ist wie ein Hotelzimmer eingerichtet mit Waschbecken, Toilette, Schlafsofa, Schreibtisch und Internetzugang, indem die Probanden Zeiträume von >24 Stunden verbringen. Im Raumkalorimeter wird das Prinzip der indirekten Kalorimetrie angewendet und kontinuierlich der Verbrauch an O<sub>2</sub> und die Produktion von CO<sub>2</sub> in der Raumluft gemessen. Aus diesen Werten kann dann mit Hilfe der Weir-Formel der individuelle 24h-Energieverbrauch ermittelt werden (Weir 1949). So können die Probanden exakt nach ihrem individuellen Energieverbrauch ernährt und eine konstante Energiebilanz aufrechterhalten werden. Außerdem wurde über die gesamte Studiendauer eine konstante Makronährstoffreife von 50% Kohlenhydraten, 35% Fett und 15% Protein eingehalten. Darüber hinaus bestanden die einzelnen Mahlzeiten jeden Tag aus ähnlichen Lebensmitteln. Neben der exakten Erfassung des individuellen Energieverbrauchs bietet das Raumkalorimeter aber noch weitere Vorteile für die Durchführung einer solchen Studie. So lassen sich die Bedingungen streng kontrollieren und standardisieren wie z.B. der komplette Tagesablauf mit Uhrzeiten der Mahlzeiten, sowie Aufstehen und zu Bett gehen der Probanden.



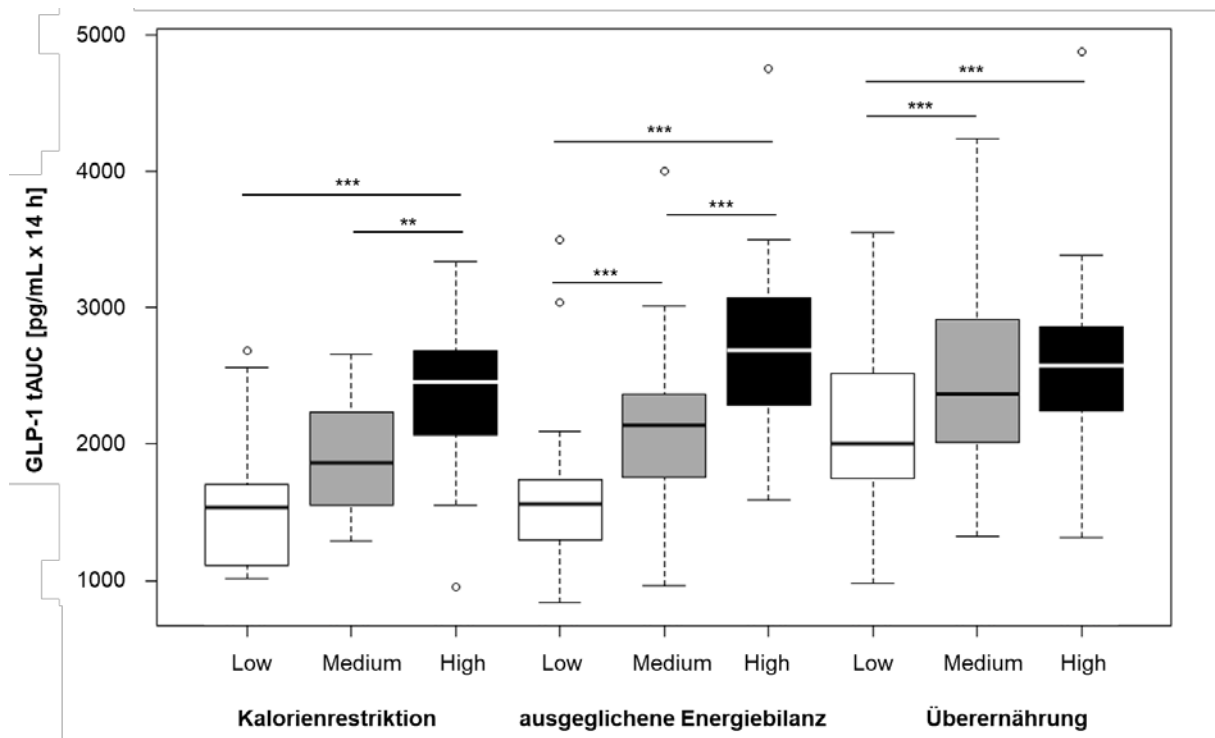


**Abbildung 1:**

Schematische Abbildung des Studienprotokolls mit 3 unterschiedlichen *Energy Flux*-Niveaus, die im randomisierten *cross-over* Design jeweils unter 4 verschiedenen Energie-bilanzen in einem Stoffwechselraum durchgeführt wurden. Die *Energy Flux*-Niveaus wurden durch unterschiedlich lange Bewegung auf einem Laufband erzeugt (jeweils bei 4 km/h). Die Ernährung wurde während der gesamten Studiendauer kontrolliert. High EF, hoher *Energy Flux*; low EF, niedriger *Energy Flux*; medium EF, mittlerer *Energy Flux*; PAL, *physical activity level*.

## Ergebnisse

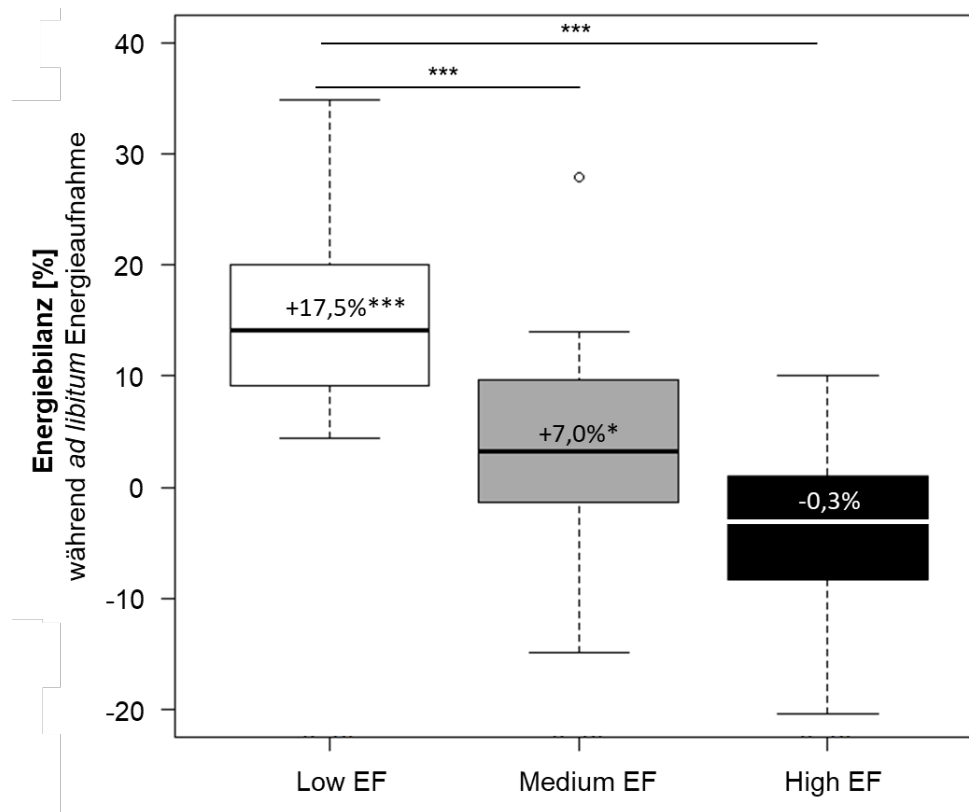
Die Spiegel des Sättigung-fördernden Hormons GLP-1 waren während aller Energiebilanz-Bedingungen mit hohem *Energy Flux* höher als mit niedrigem *Energy Flux* (alle  $p < 0,01$ ; **Abb.2**). Lediglich zwischen niedrigem vs. mittlerem *Energy Flux* bei Kalorienrestriktion und mittlerem vs. hohem *Energy Flux* bei Überernährung gab es keine Unterschiede. Die Spiegel des Appetit-steigernden Hormons Ghrelin waren bei Überernährung und Kalorienrestriktion mit steigendem *Energy Flux* niedriger (alle  $p < 0,05$ ), während es bei ausgeglichener Energiebilanz keine Unterschiede gab. Dazu passend war der subjektive Hunger bei ausgeglichener Energiebilanz mit steigendem *Energy Flux* geringer (alle  $p < 0,01$ ) und der Appetit bei allen Energiebilanzen mit hohem *Energy Flux* geringer als mit niedrigem *Energy Flux* (alle  $p < 0,05$ ). Zusätzlich war der Appetit bei ausgeglichener Energiebilanz mit mittlerem *Energy Flux* geringer als mit niedrigem *Energy Flux* ( $p < 0,001$ ) und bei Kalorienrestriktion mit hohem *Energy Flux* geringer als mit mittlerem *Energy Flux* ( $p < 0,05$ ).



**Abbildung 2:**

Vergleich der GLP-1-Sekretion über den Tag zwischen 3 *Energy Flux*-Niveaus bei 3 verschiedenen Energiebilanzen mithilfe von *Box-and-Whiskers-Plots*. Der obere und der untere Rand der Box repräsentieren dabei das 25%- bzw. 75%-Quartil der beobachteten Daten und der Balken innerhalb der Box zeigt den Median. Die *Whisker* repräsentieren die Streuung der Daten, wobei die maximale Länge dabei 1,5 Interquartilabstände betragen darf. Ausreißer werden mit einem Punkt gekennzeichnet. \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ; gemischtes lineares Modell mit multiplen Kontrasttests;  $MW \pm SD$ ;  $n = 16$ ; high, hoher *Energy Flux*; low, niedriger *Energy Flux*; medium, mittlerer *Energy Flux*; tAUC, totale Fläche unter der Kurve.

Während der *ad libitum* Energieaufnahme kam es unter niedrigem und mittlerem *Energy Flux* zu einer positiven Energiebilanz (niedrig +17,5%; mittel +7,0%; beide  $p < 0,05$ ). Dagegen war die Energiebilanz bei hohem *Energy Flux* ausgeglichen (**Abb.3**).



**Abbildung 3:**

Vergleich der während *ad libitum* Energieaufnahme erreichten Energiebilanzen (in %) zwischen niedrigem, mittlerem und hohem *Energy Flux*. \* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ; gemischtes lineares Modell mit multiplen Kontrasttests; MW  $\pm$ SD;  $n = 16$ ; high EF, hoher *Energy Flux*; low EF, niedriger *Energy Flux*; medium EF, mittlerer *Energy Flux*.

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem höheren *Energy Flux* eine höhere Sättigung durch GLP-1 und geringerer Hunger durch Ghrelin vermittelt wird. Diese Befunde werden durch den geringeren subjektiven Hunger und Appetit mit steigendem *Energy Flux* bestätigt. Alle diese Ergebnisse waren unabhängig von der Energiebilanz zu finden. Auch die Ergebnisse der *ad libitum* Energieaufnahme stimmen mit den Befunden überein, da bei geringerem *Energy Flux* eine positive Energiebilanz erreicht wurde. Am inaktiven Tag (niedriger *Energy Flux*) lag die Energiebilanz unter *ad libitum* Ernährung bei +17,5% bzw.  $+415 \pm 300$  kcal/d. Unter der Annahme, dass 1 kg Fettmasse einem Energiegehalt von 9.000 kcal entspricht, würde dies einer theoretischen Fettmasse-Zunahme von  $47 \pm 40$  g/d gleichkommen. Wenn angenommen wird, dass durchschnittlich ein Tag pro Woche inaktiv verbracht wird (z.B. regnerische Sonntage, Feiertage, etc.) und die an diesem Tag positive Energiebilanz nicht kompensiert wird, würde dies über ein Jahr eine theoretische Zunahme von 2,4 kg Fettmasse bedeuten. Das bestätigt die Erkenntnisse zur Gewichtszunahme am Wochenende und während der Feiertage aus den USA (Racette et al. 2008; Schoeller 2014). Dagegen ließe sich eine solche Gewichtszunahme durch einen hohen *Energy Flux* verhindern, wie in der vorliegenden Studie gezeigt werden konnte.

Allgemein wird angenommen, dass es für den Großteil der Bevölkerung leichter umzusetzen ist sich mehr zu bewegen (passend zur ohnehin schon hohen Energieaufnahme) und damit einen hohen *Energy Flux* zu erreichen, als weniger Kalorien aufzunehmen (passend zur bereits geringen Bewegung) und damit einen niedrigen *Energy Flux* zu erreichen (Hand et al. 2015; Hill, Wyatt, and Peters 2012). Außerdem wurde gezeigt, dass ein hohes Maß an körperlicher Bewegung die negativen Auswirkungen

einer positiven Energiebilanz und reduzierter körperlicher Aktivität auf die Insulinsensitivität ausgleichen kann. Auch bei einer weiterhin bestehenden Überernährung konnte eine Verschlechterung der Insulinsensitivität durch hohe körperliche Bewegung verhindert werden (Walhin et al. 2013). Auch die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die positiven Effekte von körperlicher Bewegung unabhängig von der tatsächlichen Energiebilanz, da der Einfluss des *Energy Flux* auf die Appetithormone auch bei Überernährung und Kalorienrestriktion vorhanden war. Zusätzlich ist das Risiko in eine positive Energiebilanz zu rutschen bei einem hohen *Energy Flux* deutlich geringer, da grundsätzlich schon eine größere Kalorienaufnahme erforderlich ist. Darüber hinaus zu viel Energie aufzunehmen ist bei einem hohen *Energy Flux* unwahrscheinlicher als bei einem niedrigen *Energy Flux*, bei dem von vorne herein eine nur geringe Energieaufnahme vorgesehen ist (Manore et al. 2017).

Die Höhe der positiven Energiebilanz unter *ad libitum* Energieaufnahme mit +17,5% ist nicht zu unterschätzen. Möglicherweise ist ein Grund dafür die Tatsache, dass die Probanden während der Studie mit einer energiedichten *Western Diet* ernährt wurden. Diese sollte zum einen die weit verbreitete Ernährungsweise in unserer Bevölkerung widerspiegeln. Zum anderen sollten die Probanden Lebensmittel zu essen bekommen, die sie wiederholt auch über den langen Studienzeitraum hinweg gerne essen. Zusätzlich musste eine Diät zusammengestellt werden, die sich gut standardisieren und über den langen Studienzeitraum immer wieder möglichst identisch reproduzieren lässt, was mit *Convenience*-Produkten deutlich einfacher umzusetzen ist. Aus diesen Gründen wurden die Probanden mit Fertiggerichten (z.B. Tiefkühl-Pizza) ernährt, die dann bei höherem Verzehr aber auch schnell zu einer Überernährung führen können und dadurch die Höhe der positiven Energiebilanz in der *ad libitum*-Phase möglicherweise noch verstärkt haben könnten. Auf der anderen Seite bleibt zu bedenken, dass die Probanden während der Phase mit *ad libitum* Energieaufnahme trotzdem nur 3 Mahlzeiten pro Tag und ungesüßte Getränke zur Verfügung hatten. Unter *free-living* Bedingungen ist an einem inaktiven Tag dagegen mit deutlich mehr Mahlzeiten durch *snacking behaviour* zu rechnen. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass es im Alltag auch zu einem sogenannten „*distracted eating*“, also Essen während einer Ablenkung (z.B. während des Fernsehens) kommt. Es wurde bereits gezeigt, dass *distracted eating* das subjektive Empfinden von Hunger, Appetit und das Völlegefühl weniger stark beeinflusst als die gleiche Mahlzeit, die ohne Ablenkung konsumiert wird. Folglich kommt es zu kürzeren Zeitintervallen zwischen den Mahlzeiten und damit zu einer höheren Gesamtenergieaufnahme über den Tag wenn während Ablenkung gegessen wird (Brunstrom and Mitchell 2006). Wenn dann zusätzlich noch kalorienhaltige bzw. zuckergesüßte Getränke über den Tag konsumiert werden, ist mit einer weiteren Erhöhung der Gesamtenergieaufnahme an inaktiven Tagen zu rechnen, da bereits gezeigt wurde, dass „flüssige Kalorien“ bei folgenden Mahlzeiten nicht eingespart werden (DellaValle, Roe, and Rolls 2005).

Es könnte auch einen Einfluss auf die Appetitregulation haben, auf welchem *Energy Flux* -Niveau sich die Probanden normalerweise bewegen. So scheinen Personen mit habituell hohem *Energy Flux* die Energieaufnahme besser an Veränderungen der Energiebilanz anpassen zu können (Beaulieu et al. 2017) und sensitiver auf die Energiedichte von Lebensmitteln zu reagieren (Beaulieu et al. 2016). Beides spricht dafür, dass Probanden mit habituell hohem *Energy Flux* am inaktiven Tag während *ad libitum* Energieaufnahme keine ausgeprägt positive Energiebilanz erreicht haben. Da die gewöhnliche Alltagsaktivität der eingeschlossenen Probanden aber nicht exakt genug erhoben wurde, können dazu leider keine genauen Rückschlüsse aus der vorliegenden Arbeit gezogen werden.

Die Bewegung in der hier präsentierten Studie war mit zügigem Gehen auf dem Laufband bei 4 km/h von geringer Intensität. Dafür war die Dauer der erforderlichen Bewegung um eine gut angepasste Appetitregulation zu erreichen (mit hohem *Energy Flux*) mit insgesamt 330 min/d (bzw. >34.500 Schritte/d) sehr lange. Jedoch ist zu bedenken, dass durch gewöhnliche Alltagsaktivitäten (z.B. Treppen steigen, das Tragen schwerer Gegenstände, zum Bus rennen, etc.) unter *free-living* Bedingun-

gen vermutlich mehr Energie verbraucht wird als in einem Raumkalorimeter. In der vorliegenden Studie haben sich die Probanden tatsächlich ausschließlich auf dem Laufband bewegt und waren ansonsten inaktiv. Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt daher 10.000 Schritte/d für einen gesunden Lebensstil (Institute of Medicine 2002). Und in einer Studie wurde festgestellt, dass unter *free-living* Bedingungen sogar 7.116 Schritte/d ausreichend sind um eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen. Eine Zahl, die die Autoren als erreichbar für die meisten Menschen betrachten (Shook et al. 2015).

Auch die geringe Intensität der Bewegung scheint für eine gute Appetitregulation ausreichend zu sein. Passend zu den hier gezeigten Ergebnissen konnte auch in einer anderen Studie festgestellt werden, dass bereits mit zügigem Gehen ein moderates Energiedefizit erreicht wird, welches nicht durch einen gesteigerten Hunger oder eine höhere Energieaufnahme kompensiert wird. Daher vermuten die Autoren, dass Bewegung mit geringer Intensität für das Gewichtsmanagement bereits ausreichend ist (King et al. 2010).

Zusammengefasst lässt sich also sagen, dass die durchgeführte Studie die Hypothese der asymmetrischen Appetitregulation bestätigen konnte. Nur bei einem hohen *Energy Flux* kann eine Gewichtszunahme durch eine optimale Adaptation der Energieaufnahme an den Energieverbrauch verhindert werden. Bereits Bewegung mit geringer Intensität ist dafür ausreichend. Demnach ist das Erreichen eines hohen *Energy Flux* eine gute Strategie um das Körpergewicht zu halten. Dies könnte insbesondere dazu beitragen, das Gewicht nach einer Gewichtsabnahme besser zu halten.

## Referenzen:

Beaulieu, Kristine, Mark Hopkins, John Blundell, and Graham Finlayson. 2016. "Does Habitual Physical Activity Increase the Sensitivity of the Appetite Control System? A Systematic Review." *Sports Medicine* 46(12):1897–1919.

Beaulieu, Kristine, Mark Hopkins, Cecilia Long, John Blundell, and Graham Finlayson. 2017. "High Habitual Physical Activity Improves Acute Energy Compensation in Nonobese Adults." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 49(11):2268–75.

Brunstrom, Jeffrey M. and Gemma L. Mitchell. 2006. "Effects of Distraction on the Development of Satiety." *British Journal of Nutrition* 96(4):761–69.

DellaValle, Diane M., Liane S. Roe, and Barbara J. Rolls. 2005. "Does the Consumption of Caloric and Non-Caloric Beverages with a Meal Affect Energy Intake?" *Appetite* 44(2):187–93.

Flint, A., A. Raben, A. Astrup, and J. J. Holst. 1998. "Glucagon-like Peptide 1 Promotes Satiety and Suppresses Energy Intake in Humans." *Journal of Clinical Investigation* 101(3):515–20.

Hand, Gregory A., Robin P. Shook, James O. Hill, Peter R. Giacobbi, and Steven N. Blair. 2015. "Energy Flux: Staying in Energy Balance at a High Level Is Necessary to Prevent Weight Gain for Most People." *Expert Review of Endocrinology & Metabolism* 10(6):599–605.

Hill, James O., Holly R. Wyatt, and John C. Peters. 2012. "Energy Balance and Obesity." *Circulation* 126(1):126–32.

Institute of Medicine. 2002. *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)*. Washington (DC): The National Academies Press.

King, James A., Lucy K. Wasse, David R. Broom, and David J. Stensel. 2010. "Influence of Brisk Walking on Appetite, Energy Intake, and Plasma Acylated Ghrelin." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42(3):485–92.

Manore, Melinda M., D. E. Larson-Meyer, Anne R. Lindsay, Nobuko Hongu, and Linda Houtkooper. 2017. "Dynamic Energy Balance: An Integrated Framework for Discussing Diet and Physical Activity in Obesity Prevention—Is It More than Eating Less and Exercising More?" *Nutrients* 9(8):905.

Mayer, J., P. Roy, and KP Mitra. 1956. "Relation between Caloric Intake, Body Weight, and Physical Work: Studies in an Industrial Male Population in West Bengal." *Am J Clin Nutr* 4:169–75.

Poehlman, E. T. and E. Danforth. 1991. "Endurance Training Increases Metabolic Rate and Norepinephrine Appearance Rate in Older Individuals." *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 261(2):E233–39.

Racette, Susan B., Edward P. Weiss, Kenneth B. Schechtman, Karen Steger-May, Dennis T. Villareal, Kathleen A. Obert, and John O. Holloszy. 2008. "Influence of Weekend Lifestyle Patterns on Body Weight." *Obesity (Silver Spring, Md.)* 16(8):1826–30.

Schoeller, Dale A. 2014. "The Effect of Holiday Weight Gain on Body Weight." *Physiology & Behavior* 134:66–69.

Shook, Robin P., Gregory A. Hand, Clemens Drenowatz, James R. Hebert, Amanda E. Paluch, John E. Blundell, James O. Hill, Peter T. Katzmarzyk, Timothy S. Church, and Steven N. Blair. 2015. "Low Levels

of Physical Activity Are Associated with Dysregulation of Energy Intake and Fat Mass Gain over 1 Year.” *The American Journal of Clinical Nutrition* 102(6):1332–38.

Walhin, Jean-Philippe, Judith D. Richardson, James A. Betts, and Dylan Thompson. 2013. “Exercise Counteracts the Effects of Short-Term Overfeeding and Reduced Physical Activity Independent of Energy Imbalance in Healthy Young Men.” *The Journal of Physiology* 591(24):6231–43.

Weir, JB. 1949. “New Methods for Calculating Metabolic Rate with Special Reference to Protein Metabolism.” *Journal of Physiology* 109(5):1–9.

Wren, A. M., L. J. Seal, M. A. Cohen, A. E. Brynes, G. S. Frost, K. G. Murphy, W. S. Dhillon, M. A. Ghatei, and S. R. Bloom. 2001. “Ghrelin Enhances Appetite and Increases Food Intake in Humans.” *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 86(12):5992–5992.

# Oleogel – das Fett neu erfinden

Philipp M. Meissner, Julia K. Keppler, Heiko Stöckmann, Karin Schwarz  
Universität Kiel  
Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde  
Abteilung Lebensmitteltechnologie

## 1 Einleitung

Fette dienen als Nahrungsmittel für den Menschen und sind ein wichtiger Bestandteil unserer Ernährung. Fette und Öle werden daher seit jeher wertgeschätzt, so heißt es zum Beispiel auf ca. 3500 Jahre alten Tontafeln der Hethiter: „Du sollst nicht vergiften deines Nachbarn Fett, du sollst nicht verzaubern deines Nachbarn Fett“.

Die ernährungsphysiologische Bedeutung der Fette beruht zum einen auf deren hohem Energiegehalt. So besitzen Fette einen Brennwert von 37 kJ/g bzw. 9 kcal/g, der etwa doppelt so hoch ist wie der von Kohlenhydraten und Proteinen.

Zum anderen dienen Fette und Öle als Lieferant von fettlöslichen Vitaminen (A, D, E und K), die wichtiger Bestandteil unserer Ernährung sind. Unter den Fettsäuren selbst werden die sogenannten Omega-3-Fettsäuren als essentiell angesehen, da sie der Körper selbst nicht synthetisieren kann.

Aus sensorischer Sicht nehmen Lipide eine besondere Rolle in der Herstellung von Lebensmitteln ein, da sie Träger von Geschmacks- und Geruchsstoffen sind. Hervorzuheben ist hierbei insbesondere das Schmelzverhalten von Fetten, das zum einen prägend für das Mundgefühl eines Lebensmittels ist und zum anderen dazu führt, dass Aromen frei gesetzt werden.

Fette und Öle nehmen eine wichtige Rolle in der Wertschöpfungskette der Nahrungsmittelindustrie ein. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Fetttechnologie zu. Beispielsweise werden viele Fette und Öle erst durch deren Raffination verwertbar oder genießbar gemacht. Diese so gewonnenen Speiseöle werden oftmals anschließend noch weiter prozessiert, um insbesondere deren Konsistenz zu ändern. Die wichtigsten Verfahren stellen dabei die Fraktionierung, die katalytische Fetthärtung und die Umesterung dar [1]. Ein relativ neues Verfahren zur Veränderung der Konsistenz von Ölen und Fetten ist die Gelierung, dessen Produkte auch Oleogele genannt werden

## 2 Fette in Funktion als Formgeber

Betrachtet man Fette aus technologischer und sensorischer Sicht, müssen Fette für einige Lebensmittel eine feste Konsistenz bei Raumtemperatur aufweisen, wie z.B. in Margarinen, damit plastische Eigenschaften wie Festigkeit und Streichfähigkeit erzielt werden können. Andererseits sollen die verwendeten Fette einen Schmelzpunkt nahe der Körpertemperatur aufweisen, damit ein angenehmes Mundgefühl beim Verzehr erzeugt wird. Darüber hinaus werden beim Schmelzen im Mund Aromastoffe freigesetzt und können wahrgenommen [2]. Die Konsistenz und der Schmelzpunkt eines Fettes werden durch die enthaltenen Fettsäuren bestimmt.



## 2.1 Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren

Strukturell bestehen Fette und Öle hauptsächlich aus Triacylglyceriden, welche sich aus drei Fettsäuren zusammensetzen die an einer GlycerinGrundstruktur verbunden sind. Die Fettsäuren sind dabei lange Ketten von Methylengruppen (-CH<sub>2</sub>-) mit einem Carbonsäureende (COOH) (siehe Abbildung 1). Dabei werden die Methylgruppen und Kohlenstoffatome gerne als Punkte abgekürzt wobei sich die Strukturformel wesentlich vereinfacht.

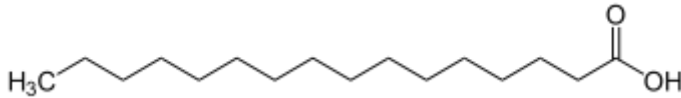


Abbildung 8: Palmitinsäure, eine Fettsäure mit 16 Kohlenstoffatomen.

wie die Palmitinsäure werden dabei als gesättigt bezeichnet, da die Kohlenstoffatome in diesen Fettsäuren die maximale Anzahl an Wasserstoffatomen tragen. Die einzelnen Kohlenstoffatome sind dabei jeweils mit einer Einfachbindung verbunden. Im Gegensatz dazu sind in den ungesättigten Fettsäuren die Kohlenstoffatome an manchen Stellen durch Doppelbindungen verbunden (siehe Abbildung 2). Deshalb sind in der Summe zwei Wasserstoffatome pro Doppelbindung weniger im gesamten Molekül vorhanden, wodurch sich der Ausdruck ungesättigt ergibt.

Daraus ergibt sich ein wichtiger Umstand, dass nämlich ungesättigte Fettsäuren einen „Knick“ im Molekül besitzen. Dieser verhindert, dass sich ungesättigte Fettsäureketten zusammen lagern können und eine ungeordnetere Struktur bilden, sodass Lipide aus vorwiegend gesättigten Fettsäuren feste Fette (d.h. der Schmelzpunkt liegt oberhalb der Raumtemperatur) ergeben. Lipide aus vorwiegend ungesättigten Fettsäuren hingegen ergeben ein flüssiges Öl bei Raumtemperatur [1].

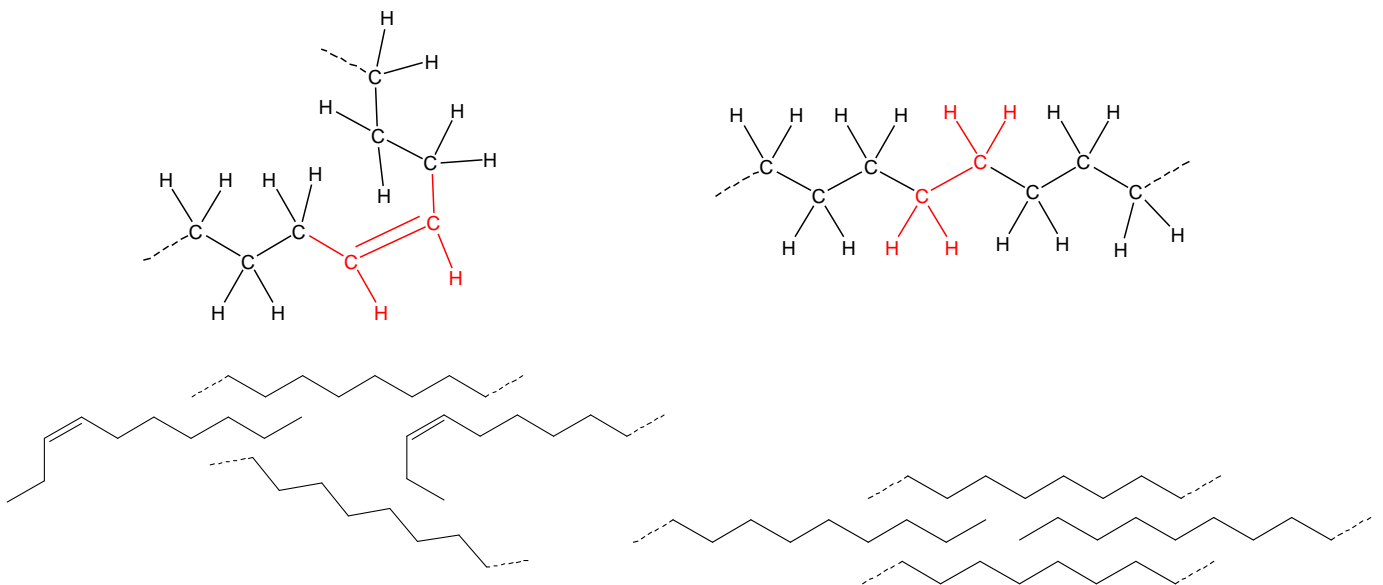


Abbildung 9: Ungesättigte Fettsäuren mit einer Doppelbindung zwischen den Kohlenstoffatomen (rot markiert) und gesättigte Fettsäuren mit einer Einfachbindung (rot markiert). Unter den jeweiligen Strukturen ist die räumliche Anordnung mehrerer Moleküle schematisch dargestellt.

Um Produkte herzustellen, die eine gewünschte Konsistenz aufweisen, muss zunächst das Prinzip verstanden werden, wie sich die Konsistenz der Fette ergibt:

## 2.2 Fettkristallisation und Fraktionierung

Das Schmelzverhalten eines fetthaltigen Produkts wird maßgeblich durch die Kristallisation der Fettsäuren determiniert. Den Aufbau eines Fetts, wie z.B. Backfett, kann man sich wie in Abbildung 3 dargestellt vorstellen. Hierbei lagern sich einzelne Triacylglyceride zu Lamellen an, welche sich zu Domänen assoziieren. Die Domänen wiederum bilden Einzelkristalle, welche sich zu Cluster zusammenschließen. Diese Cluster oder auch Fettkristalle bilden Flocken aus, welche wiederum im flüssigen Öl Medium ein kolloidal verteiltes kristallines Netzwerk im Öl bilden. Durch diese Verzahnungen der Fettkristalle untereinander entsteht letztlich die erhöhte Konsistenz [3].

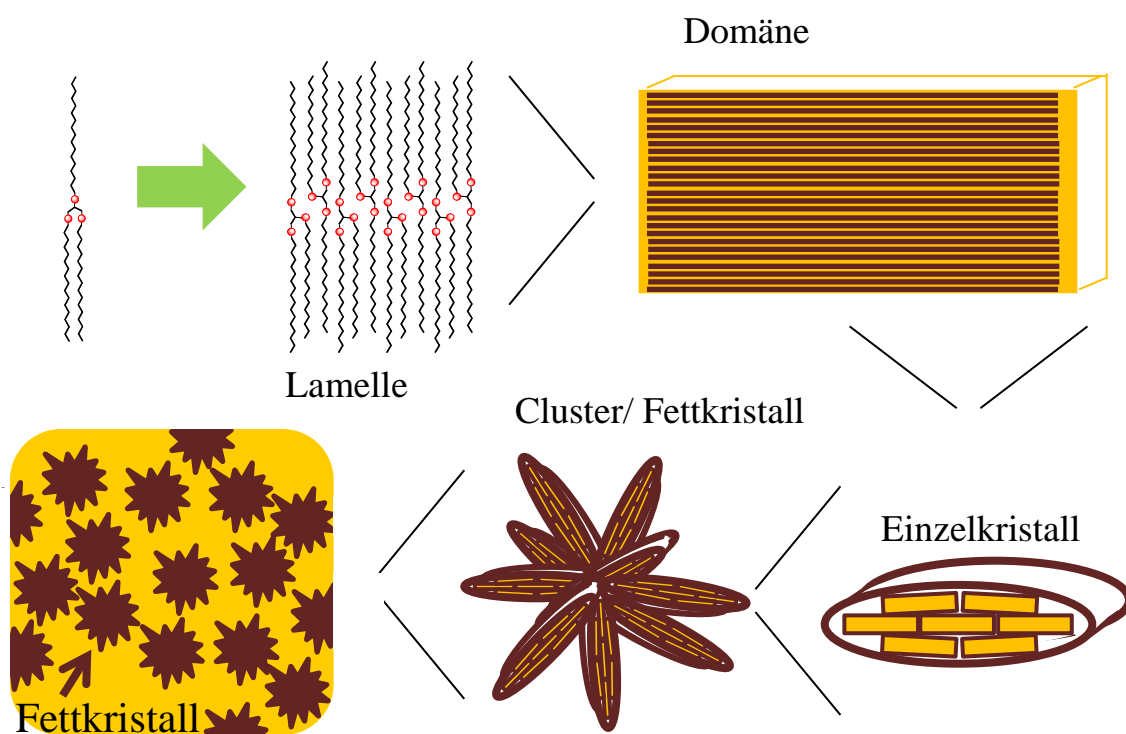


Abbildung 10: Aufbauschema eines kolloidalen Fettkristallnetzwerkes in Fetten.

Eine relativ einfache Methode ein festes Fett herzustellen ist die sogenannte Fraktionierung, wobei das Ziel ist Fettkristalle vom flüssigen Öl zu trennen. Diese Trennung kann durch Kurzwegdestillation, überkritischer Extraktion, Adsorption an einer festen Oberfläche, Membrantrennung oder fraktioneller Kristallisation erfolgen. Die fraktionelle Kristallisation stellt dabei die Methode mit dem breitesten Anwendungsgebiet dar. Sie erfolgt aus der Schmelze und wird als trockene Fraktionierung bezeichnet, wenn kein Lösemittel verwendet wird. Im ersten Schritt werden hierbei durch Abkühlen Fettkristalle gebildet, die im 2. Schritt mechanisch vom flüssigen Öl getrennt werden [4].

## 2.3 Fetthärtung

Ein Verfahren, das bereits Anfang des 20. Jahrhunderts zur Veränderung der Konsistenz von Fetten eingeführt wurde, ist die Fetthärtung, bei der jedoch die essentiellen ungesättigten Fettsäuren verloren gehen. Hier werden ungesättigte Fettsäuren katalytisch in gesättigte Fettsäuren überführt, wobei

es vorwiegend zur Härtung von Pflanzenölen verwendet wird. Hierbei werden ungesättigte Fettsäuren bei einer Arbeitstemperatur von 160-220 °C am Katalysator gebunden, wobei in der Industrie hauptsächlich Nickel verwendet wird. Die Doppelbindungen der ungesättigten Fettsäuren werden aufgebrochen und mit ebenfalls zugesetztem Wasserstoff sukzessive gesättigt. Ein gewisser Anteil an gebundenen Fettsäuren löst sich jedoch ohne Hydrierung im Laufe des Prozesses wieder ab, wodurch eine Isomerisierung in *trans*-Fettsäuren erfolgt. Da diese ebenfalls ungesättigt sind enthalten insbesondere Fette, die nur teilgehärtet wurden, dabei besonders hohe Gehalte an *trans*-Fettsäuren [5]. *trans*-Fettsäuren sind dafür bekannt, das Risiko für Herz-Kreislaufkrankungen zu erhöhen [6], weshalb die Fetthydrierung zunehmend eine Akzeptanzminderung durch Verbraucher erfährt.

## 2.4 Umestern

Eine andere Möglichkeit, um die Konsistenz von Fetten zu verändern, ist die Umesterung. Hier werden die einzelnen Fettsäuren zwischen Triacylglyceriden getauscht. Dadurch kann ein besonders gesättigtes Fett mit einem Öl derart vermischt werden, dass ein Fett mit mittleren Eigenschaften der zuvor eingesetzten Lipide entsteht (siehe Abbildung 4). Die Esterbindung zwischen den Fettsäuren und dem GlycerinGrundmolekül wird dabei katalytisch oder enzymatisch gebrochen und erneut mit einer anderen Fettsäure wieder erstellt [7].

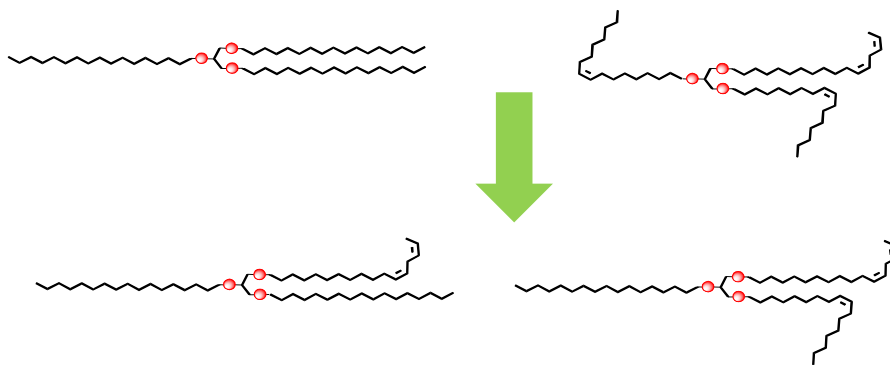


Abbildung 11: Prinzip der Umesterung, die Esterbindungen zwischen den Fettsäuren und der GlycerinGrundmolekül sind hierbei rot dargestellt.

## 2.5 Natürliche feste Fette

Natürliche feste Fette sind eine einfache Methode, um auf prozessierte Fette zu verzichten. Abgesehen von den Tierfetten sind bedeutende Pflanzenfette z.B. Kakaobutter, Kokosfett und Sheabutter, welche nicht nur für die Verwendung in Lebensmitteln sondern auch Kosmetikprodukten bekannt sind. Das bedeutendste Pflanzenfett weltweit ist jedoch Palmöl. Es ist reich an Palmitinsäure, beta-Carotin und Vitamin E und lässt sich gut in festes Fett und flüssiges Öl durch Fraktionierung trennen. Seiner Bedeutung liegt auch zu Grunde, dass die Ölpalme bis zu 10-mal mehr Öl liefert als andere Ölpflanzen bei gleicher Anbaufläche. Hauptanbauggebiete von Palmöl sind Indonesien, Malaysia, Thailand, Kolumbien und Nigeria [8]. Palmöl wird daher neben den anderen genannten Pflanzenfetten unter anderem auch als Tropenöl bezeichnet. Diese Bezeichnung trägt Rechnung, dass die Anbaufläche dieser Ölpflanzen zunehmend in Konkurrenz zum Regenwald gerät.

### 3 Oleogele

Eine relativ neue Methode, um die Konsistenz von Fetten zu verändern, sind Oleogele. Hier geht es um den Austausch von Fettkristallen aus gesättigten Fettsäuren:

Gesättigte Fettsäuren erhöhen die Konsistenz des Fetts durch die Bildung von Fettkristallen (Vgl. Kapitel 2.2). Die Fettkristalle schließen dabei die flüssigen Fettfraktionen mit ein, bzw. ermöglichen es, dass flüssige Öltröpfchen auf ihrer Oberfläche adsorbieren, wodurch eine gewisse Festigkeit entsteht. Die Idee der Oleogele ist es nun, die Fettkristalle und damit die gesättigten Fettsäuren durch Gelatoren zu ersetzen (siehe Abbildung 5). Dadurch können feste Fette gewonnen werden, die ein ernährungsphysiologisch günstiges Fettsäureprofil besitzen, da diese Fette reich an ungesättigten Fettsäuren bestehen können [9].

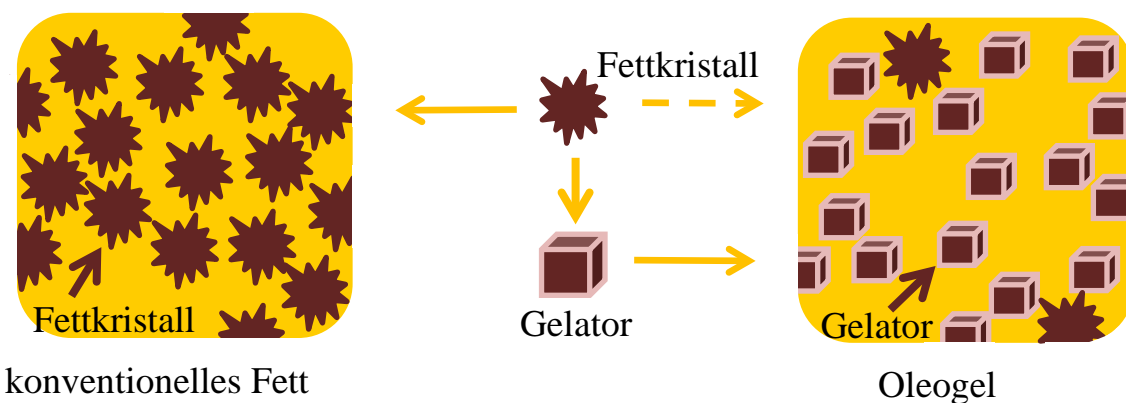


Abbildung 12: Prinzip Oleogel, feste Fettsäuren werden nicht zur Strukturierung herangezogen, diese Funktion wird von einem Gelator übernommen.

#### 3.1 Oleogelatoren

Oleogelatoren sind Stoffe, die in der Lage sind flüssiges Öl zu gelieren. Hierbei kann man zwischen kristallinen Partikeln, Polymeren, selbst aufbauenden Strukturen und sonstigen Gelatoren und Substanzen unterscheiden. Zu den selbst aufbauenden Strukturen gehören z.B. hydroxylierte Fettsäuren wie 12-Hydroxy-stearinsäure, die ein fibrillenähnliches Kristallwachstum vorweisen und damit flüssiges Öl einschließen. Unter den sonstigen Substanzen ist insbesondere amorphes Siliziumdioxid zu nennen. Im Folgenden soll auf ein paar Gelatoren besonders eingegangen werden.

##### *Kristalline Partikel*

Wachse bieten eine relativ einfache Methode, um Fett zu strukturieren. Sie müssen lediglich im geschmolzenen Fett gelöst werden. Das so gewonnene Fett ist zudem thermoreversibel. Die hohen Temperaturen die zum Schmelzen des Fetts benötigt werden, werden jedoch als nachteilig angesehen. Genauso von Nachteil ist es, dass Oleogele aus Wachs einen wachsartigen Geschmack aufweisen können und zudem ist diese Anwendung für Wachse als Zusatzstoff noch nicht geregelt.

Aus MAG und DAG's bestehende Oleogele sind jedoch bereits als zugelassenes kommerzielles Produkt erhältlich. Als Nachteil dieser Gele ist zu nennen, dass eine relativ hohe Konzentration an MAG's (>10 %) nötig ist, um die gewünschte Textur zu erhalten. Dies kann einen bitteren Nachgeschmack sowie physikalische Instabilität verursachen.

## Polymere

Zu den Polymeren, die bereits als Gelatoren erfolgreich verwendet wurden, zählen Kohlenhydrate und Proteine. Ethylcellulose ist ein hydrophobes Kohlenhydrat, welches z.B. ähnlich wie die Wachse in Öl eingeführt wird. Nötig ist es, hierbei bei ca. 130 °C den Glasübergangszustand der Ethylcellulose zu überschreiten und das Gemisch zu scheren.

Beispiele für Proteine sind das fettlösliche Zein aus Mais oder denaturiertes und aggregiertes Molkenproteinisolat. Wasserunlösliche hydrophobe Oberflächenbereiche der Proteine sind dabei in der Lage, das Eiweiß im Öl oder an der Grenzfläche besonders gut zu halten und damit insgesamt eine Struktur zu ermöglichen. Ein Ansatz für Molkenprotein ist es, durch kurzes Erhitzen die Proteine aggregieren zu lassen, wodurch seine Oberflächenhydrophobizität ansteigt. Diese Aggregate (~150 nm) in Wasser können nun sukzessive in Öl transferiert werden, indem sie immer wieder ab zentrifugiert werden, wodurch die Flüssigkeit entfernt werden kann. Somit kann zunächst das Wasser durch Aceton ersetzt werden welches Wasser und Öl löst. Durch diesen Zwischenschritt kann schließlich das Aceton durch Öl ersetzt werden, wodurch die Proteinaggregate letztendlich in Öl überführt werden. Dieser Prozess wird als *Solvent Exchange* bezeichnet. Er kann verkürzt werden, wenn die Aggregate gefriergetrocknet werden, wodurch sie lediglich leicht weiter aggregieren und anschließend direkt in Öl dispergiert werden können [9–11]. Aufgrund der geringen Größe der Proteinaggregate sind diese sensorisch nicht wahrnehmbar. Ein weiterer Vorteil von proteinogenen Oleogelen ist, dass hochwertige Proteine mit essentiellen Aminosäurezusammensetzung in das Lebensmittel eingebracht werden. Die Festigkeit der Oleogele kann durch die Zugabe von bis zu 8 % Wasser erhöht werden, wodurch sich die Streckfestigkeit des Oleogels modulieren lässt.

### 4 Lipidoxidation in Proteinoleogelen

Da bei Oleogelen ein Austausch von gesundheitlich unerwünschten gesättigten oder *trans*-Fettsäuren stattfindet, verbleiben ungesättigte Fettsäuren. Dies führt jedoch zu einer anderen Problematik, da die hohe Anfälligkeit von ungesättigten Fettsäuren gegenüber oxidativem Verderb bekannt ist, welcher eine Hauptquelle für den Verderb von Lebensmitteln darstellt [1]. Dennoch wurde die Lipidoxidation in Oleogelen bisher kaum untersucht. Weiterhin stellt sich die Frage, inwieweit insbesondere in Proteinoleogelen, der Gelator von der Oxidation durch oxidierte Lipide betroffen ist. Im Falle von Proteinen ist mit einer Herabsetzung der biologischen Wertigkeit des Proteins zu rechnen. Außerdem stellt sich die Frage, inwieweit das Protein die Oxidation der Lipide selbst beeinflussen kann.

In der Abteilung Lebensmitteltechnologie wird aktuell zu diesem Thema geforscht. Es zeigte sich, dass die unterschiedliche Wasserzugabe von bis zu 8.4 % eine signifikante Steigerung von Lipidhydroperoxiden zur Folge hat, welche als primäre Lipidoxidationsprodukte gelten (siehe Abbildung 6). Als besonders markantes wahrnehmbares Oxidationsaroma gilt das sekundäre Lipidoxidationsprodukt Hexanal. Bei der Betrachtung von Hexanal ergab sich, dass auch hier eine Wasserzugabe die Bildung fördert. Im Kontrast dazu wurde jedoch auch beobachtet, dass bei keiner oder nur geringer Wasserzugabe Hexanal schwächer messbar ist. Dies wird als Indiz dafür genommen, dass sich das Hexanal in diesem System schneller wieder abbaut, jedoch das beteiligte Öl nicht minder oxidiert ist. Für den Verbraucher ergibt sich somit mit das Problem, dass die Verdorbenheit des Lebensmittels schlechter wahrnehmbar wird.

Ziel der aktuellen Forschung der Lebensmitteltechnologie in Kiel ist es daher, die Lipid-Protein-Cooxidation in den Systemen zu charakterisieren, um mögliche Risiken zu erkennen und abschätzen zu können [12].

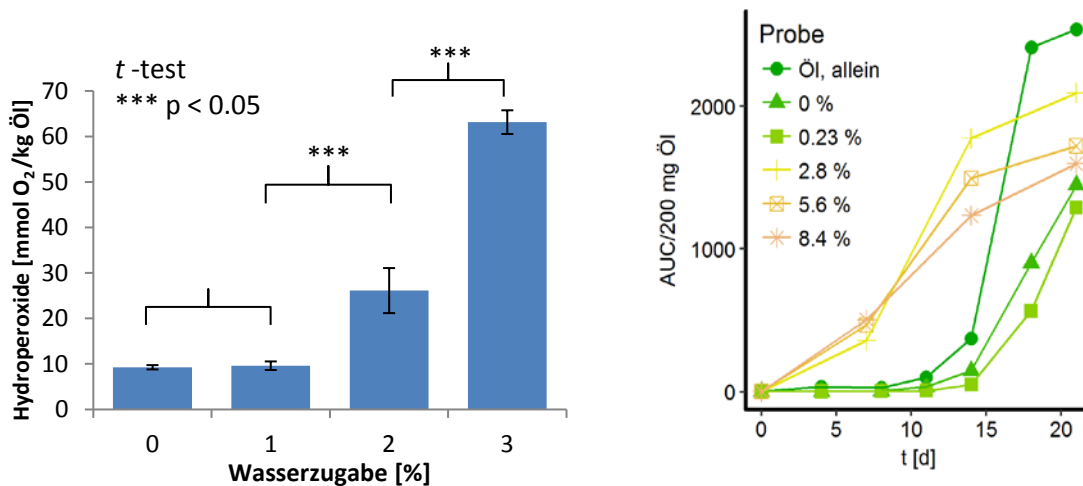


Abbildung 13: Links: Entwicklung von Lipidhydroperoxiden in verschiedenen Modelloleogelen mit unterschiedlicher Wasserzugabe nach 14 tägiger Lagerdauer unter beschleunigten Temperaturen von 40 °C. Rechts: Entwicklung des flüchtigen Aromastoffs Hexanal der Oleogele und einer Öl Referenz.

## 5 Zusammenfassung

Fette und Öle sind seit jeher ein essentieller Teil unserer menschlichen Ernährung. Sie sind einerseits natürliche Energieträger und andererseits sind omega-3-Fettsäuren Vorstufen für körpereigene Hormone. Da omega-3-Fettsäuren sogenannte ungesättigte Fettsäuren sind, bevorzugt der gesundheitsbewusste Verbraucher meist pflanzliche Öle. Hieraus ergibt sich allerdings ein ganz profanes Problem: Öle sind flüssig und nicht fest wie Fett. Feste Fette sind aber notwendig z. B. für die Herstellung von Backwaren und Margarinen. Was traditioneller Weise zu einer hohen, jedoch unerwünschten Aufnahme an gesättigten Fetten führt.

Bereits vor über 100 Jahren wurde die sogenannte katalytische Fetthydrierung erfunden. Dieser Prozess zerstört allerdings ungesättigte Fettsäuren und verwandelt diese Fettsäuren in gesättigte Fettsäuren. Außerdem verläuft die Reaktion mit Wasserstoff nie vollständig, wodurch meist ein geringfügiger Teil *trans*-Fettsäuren entsteht. Auch wenn dieser Anteil heutzutage sehr gering gehalten werden kann, sind gehärtete Fette in Verruf geraten, weil *trans*-Fettsäuren das Risiko auf Atherosklerose (Gefäßverkalkungen) erhöhen.

Um den gehärteten Fetten zu entgehen, wird heutzutage vor allem Palmöl eingesetzt, welches einen idealen Schmelzpunkt besitzt, damit das Fett im Mund schmilzt, ein angenehmes Mundgefühl verleiht und seinen Geschmack freigeben kann. In die gleiche Richtung, aber mehr in den kosmetischen Bereich, geht Kokosfett. Nichtsdestotrotz, beide Fette sind Tropenöle, die von Pflanzen gewonnen werden, die in der Äquatorialzone wachsen und daher als Gefahr für unsere Regenwälder bekannt sind.

In all diesen klassischen festen Fetten dienen ausschließlich gesättigte Fettsäuren als Strukturgeber. Allerdings wird angestrebt, den Konsum von gesättigten Fettsäuren zu verringern. Die Idee, die nun hinter den Oleogelen steht, ist einfach: man ersetzt gesättigte Fette als Strukturgeber und verwendet stattdessen andere, weniger kalorienreiche Strukturgeber, sogenannte „Oleogelatoren“. Als Oleogelatoren kann man u.a. Wachse, Kohlenhydrate und Eiweiße verwenden. Die Konsistenz der so hergestellten Gele, die ausschließlich flüssige Öle enthalten, lässt sich durchaus mit Margarine oder Butter vergleichen.

Durch den erhöhten Gehalt an ungesättigten Fettsäuren in Oleogelen ist eine verringerte oxidative Stabilität offensichtlich. Gleichzeitig sind die Auswirkungen von und für das Protein in Proteinoleogelen noch nicht bzw. nur wenig bekannt.

## Referenzen:

- [1] H.D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle, Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Springer, Garching, 2007.
- [2] E. Flöter, G. van Duijn, 17 - Trans-free fats for use in food A2 - Gunstone, Frank D, in: Hydrogenation of lipids for use, Gunstone, F. D, pp. 429–443.
- [3] D. Tang, A.G. Marangoni, Quantitative study on the microstructure of colloidal fat crystal networks and fractal dimensions, *Advances in colloid and interface science* 128-130 (2006) 257–265.
- [4] V. Gibon, 10 - Fractionation of lipids for use in food A2 - Gunstone, Frank D, in: T1-10-Fractionation of lipids for use in food A2-Gunstone, Frank D. (Ed.) *Modifying Lipids for Use in Food : Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, Woodhead Publishing, 2006 pp. 201–233.
- [5] G.R. List, J.W. King, 9 - Hydrogenation of lipids for use in food A2 - Gunstone, Frank D, in: F.D. T1-9-Hydrogenation of lipids for use in food A2-Gunstone (Ed.) *Modifying Lipids for Use in Food : Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, Woodhead Publishing, 2006 pp. 173–200.
- [6] D. Mozaffarian, M.B. Katan, A. Ascherio, M.J. Stampfer, W.C. Willett, *Trans Fatty Acids and Cardiovascular Disease*, *New England Journal of Medicine* 354 (2006) 1601–1613.
- [7] X. Xu, Z. Guo, H. Zhang, A.F. Vikbjerg, M.L. Damstrup, 11 - Chemical and enzymatic interesterification of lipids for use in food A2 - Gunstone, Frank D, in: F.D. T1-11-Chemical and enzymatic interesterification of lipids for use in food A2-Gunstone (Ed.) *Modifying Lipids for Use in Food : Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, Woodhead Publishing, 2006 pp. 234–272.
- [8] O.I. Mba, M.-J. Dumont, M. Ngadi, Palm oil. Processing, characterization and utilization in the food industry – A review, *Food Bioscience* 10 (2015) 26–41.
- [9] A.R. Patel, *Alternative Routes to Oil Structuring*, Springer International Publishing, 2015.
- [10] A. de Vries, A. Wesseling, E. van der Linden, E. Scholten, Protein oleogels from heat-set whey protein aggregates, *Journal of Colloid and Interface Science* 486 (2017) 75–83.
- [11] A. de Vries, Y. Lopez Gomez, B. Jansen, E. van der Linden, E. Scholten, Controlling Agglomeration of Protein Aggregates for Structure Formation in Liquid Oil. *A Sticky Business*, *ACS Applied Materials & Interfaces* 9 (2017) 10136–10147.
- [12] P.M. Meissner, J.K. Keppler, H. Stöckmann, K. Schrader, K. Schwarz, [Under Submission] Influence of Water Addition on Lipid Oxidation in Protein Oleogels.

# Mangelernährung im Alter

Corinna Geisler, Katharina Krause, Manfred J. Müller und Anja Bosy-Westphal  
Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde

## Wie werden Alter und Altern definiert?

Wohlstand, ein bewusster Lebensstil mit regelmäßiger Bewegung und einer die Gesundheit fördernden Ernährung, sowie eine gute medizinische Versorgung und Hygiene (z.B. Lebensmittel-, Trinkwasser- oder auch Klinikhygiene) führen zu einem immer höheren Anteil älterer Menschen in der Bevölkerung. Auch das Alter und das Altersempfinden unterliegen dabei einem fortlaufenden Wandel mit der Zeit und der Gesellschaft. Das Alter beinhaltet ein subjektives Empfinden und kann wie folgt objektiviert werden, als (1) chronologisches (biographisches), (2) biologisches, (3) psychologisches oder (4) soziales Alter [1]. Diese verschiedenen Definitionen des Alters umfassen (1) die geläufige zeitliche Altersangabe anhand des Geburtsdatums, (2) den körperlichen Zustand einer Person, (3) das eigene Erleben und Empfinden- „man ist so alt wie man sich fühlt“ und (4) die Rechte und Pflichten, die in der jeweiligen Gesellschaft für das Alter eingeräumt werden [2].

Betrachtet man das biologische Altern so entspricht es einem Prozess des intrinsischen, fortschreitenden und generellen körperlichen Abbaus, der ungefähr mit dem Alter der Geschlechtsreife beginnt [2]. Biologische altersbedingte Veränderungen betreffen dabei verschiedenste Organe und Körperfunktionen, es kommt beispielsweise zum Muskelmasse- und Knochenabbau. Bezogen auf die Muskelmasse tritt das biologische Altern schon zwischen dem 30. und 50. Lebensjahr ein und führt zu einem kontinuierlichen Abbau der Muskelmasse bis ins hohe Alter [3-7].

## Was ist eine Mangelernährung?

Mangelernährung lässt sich definieren als „der medizinische Befund eines Defizits an Energie, Eiweiß und anderen Nährstoffen, der messbare Folgen für den Betroffenen hat“ (z.B. einen unbeabsichtigten Gewichtsverlust) [8]. Im Rahmen der ErnSTES-Studie (773 Senioren) waren entsprechend dieser Definition etwas weniger als 2/3 der untersuchten Senioren mangelernährt oder wiesen ein Risiko für eine Mangelernährung auf [9]. Die Mangelernährung muss dabei im Kontext von Alter, Muskelmasseverlust und einer reduzierten Protein- und Energiezufuhr und Krankheit betrachtet werden (Abbildung 1). Das Altern führt zu einer Abnahme der Muskelmasse in dessen Folge häufig auch die allgemeine körperliche Aktivität und die Stoffwechselrate abnehmen. Diese Veränderungen führen im Weiteren zu einer reduzierten Protein- und Energiezufuhr. Daraus kann eine quantitative und qualitative Mangelernährung entstehen.

Das Risiko für die Entwicklung einer Mangelernährung nimmt mit zunehmenden Lebensalter und gleichzeitig häufigerer Morbidität zu. Prädestiniert für ein höheres Risiko an einer Mangelernährung



zu leiden sind dabei Personen mit chronischen oder konsumierenden Erkrankungen. Dieser Personenkreis kann dadurch in einen Teufelskreis der Mangelernährung kommen. Wird dieser Kreislauf nicht unterbrochen verschlechtert sich die gesundheitliche Lage des Betroffenen weiter.

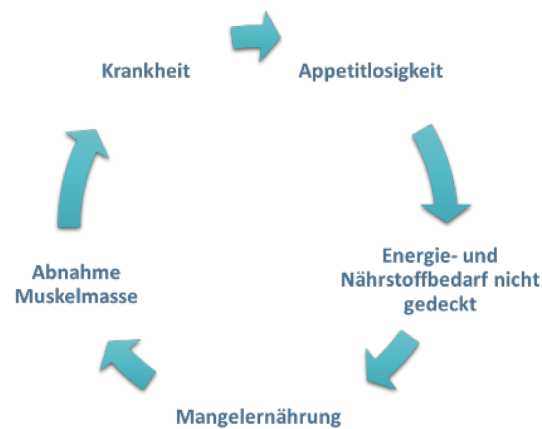


Abbildung 1 Teufelskreis der Mangelernährung bei morbidem Personenkreis.

### Wie erkennt man eine Mangelernährung?

Im europäischen Raum stützt man sich zur Diagnose der Mangelernährung auf die Empfehlung der *European Society for Clinical Nutrition and Metabolism* (ESPEN). Die ESPEN empfiehlt in der Praxis zwei Varianten zur Diagnose einer Mangelernährung [10]:

(1) es liegt Untergewicht vor<sup>1</sup> oder

(2) es liegt ein unbeabsichtigter Gewichtsverlust des Körpergewichts<sup>2</sup> in Kombination mit Untergewicht vor<sup>3</sup>.

Neben den genannten Kenngrößen zur Diagnose der Mangelernährung müssen jedoch auch die möglichen zugrundeliegenden Ursachen einer Mangelernährung erkannt und erfasst werden. Eine unzureichende Versorgung mit Energie und Nährstoffen hat multifaktorielle Ursachen und betrifft unterschiedliche Bereiche. So können beispielsweise chronische Krankheiten, eine hohe Anzahl an Medikamenten (=Polypharmazie), organische Einschränkungen (Störungen der Absorption von Nährstoffen), den Alltagsablauf beeinträchtigende muskuläre beziehungsweise neurologische Probleme, soziale Isolierung, geringe finanzielle Mittel oder Appetitlosigkeit zu einer Mangelernährung führen [11-13]. Auch eine unausgewogene nicht dem Bedarf entsprechende Lebensmittelauswahl kann zu einer Mangelernährung beitragen, so dass auch Menschen mit Adipositas nicht quantitativ, aber qualitativ mangelernährt sein können (= *hidden hunger*) [14].

Häufig ist im Alter eine Protein-Energie-Mangelernährung. Diese betrifft nicht nur Personen mit Untergewicht beziehungsweise Normalgewicht, sondern auch Personen mit Übergewicht und Adipositas. Bei der Betrachtung eines erheblich abgemagerten (=kachektischen) Älteren ist die Fehl- und Unterernährung auf den ersten Blick feststellbar, während bei der Betrachtung einer Person mit Adipositas vom Gesamteindruck selten auf eine Mangelernährung geschlossen wird. Die Mangelernährung wäre

<sup>1</sup> BMI (BMI= Körpergewicht dividiert durch die Körpergröße in Metern zum Quadrat) <18,5 kg/m<sup>2</sup>

<sup>2</sup> >10% bzw. >5% des Körpergewichts zeitunabhängig oder in den letzten 3 Monate

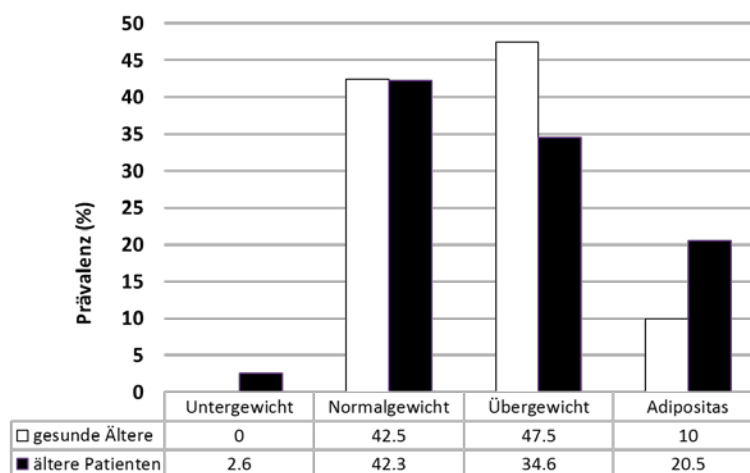
<sup>3</sup> BMI <20 kg/m<sup>2</sup> (<70 Jahre) oder BMI <22 kg/m<sup>2</sup> (≥70 Jahre) bzw. ein niedriger fettfreie Masse Index (FFMI = Fettfreie Masse in Kilogramm dividiert durch die Körpergröße in Metern zum Quadrat) FFMI <15 kg/m<sup>2</sup> (Frauen) und FFMI <17 kg/m<sup>2</sup> (Männer)

hier erst bei einer detaillierten Untersuchung der Körperzusammensetzung ersichtlich, wenn beispielsweise der Verlust an Muskelmasse besteht [15-18]. Der Gewichtsverlust ist ein wesentliches Alarmsignal für das Vorliegen einer Mangelernährung.

Um das Risiko einer Mangelernährung umfassend zu erkennen werden in der Ernährungsmedizin häufig Screening Tools eingesetzt. Als ein einfaches Screening Tool bei älteren Personen dient der Mini Nutritional Assessment (MNA). Der MNA ist derzeit der „Gold-Standard“ zur Erkennung von Mangelernährung (Screening) beim geriatrischen Patienten (Alter >65 Jahre). Dieser zweiminütige Test sollte bei allen geriatrischen Patienten, bei einer stationären Aufnahme beziehungsweise in regelmäßigen Abständen, zum detaillierten Erfassen einer Malnutrition angewendet werden [19]. Im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes *Malnutrition in the elderly Knowledge Hub (MaNuEL)* wurden entsprechende Empfehlungen zur Verwendung, der zur Verfügung stehenden Screening Instrumente in Abhängigkeit vom Setting formuliert [20, 21].

### Wie hoch ist die Prävalenz für das Risiko einer Mangelernährung?

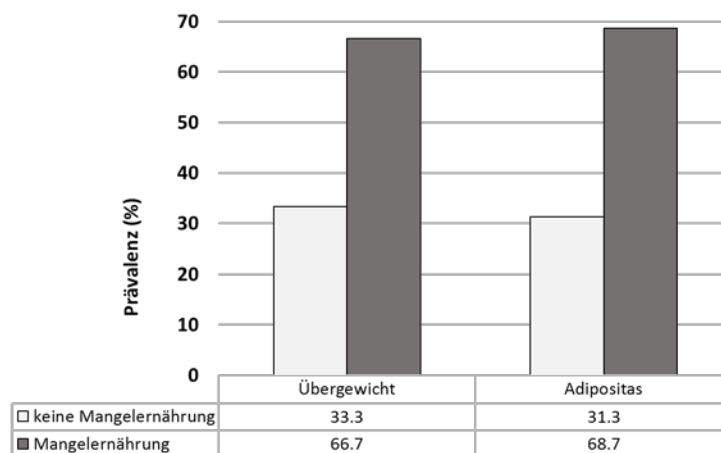
Im Rahmen eigener Datenerhebungen in Kiel bei gesunden Kieler Senioren und älteren Patienten zweier geriatrischer Stationen wurden Daten zur Mangelernährung über den MNA erhoben. Über die Erfassung von Körpergröße und Körpergewicht konnte der entsprechende Body Mass Index berechnet werden und über den MNA das Risiko einer Mangelernährung erfasst werden. Die untersuchten älteren Personen wurden eingeteilt in Personen mit Untergewicht (BMI <18,5 kg/m<sup>2</sup>), Normalgewicht (18,5 bis 24.9 kg/m<sup>2</sup>), Übergewicht (25 kg/m<sup>2</sup> bis 29,9 kg/m<sup>2</sup>) und Adipositas (≥30 kg/m<sup>2</sup>) beziehungsweise in Personen ohne und mit einem Risiko für Mangelernährung. In Abbildung 2 ist zu sehen, dass keiner der gesunden Älteren und weniger als drei Prozent der älteren Patienten als untergewichtig eingestuft werden.



**Abbildung 2** Anteil Untergewichtiger und Adipöser bei gesunden Älteren (n=40) und älteren Patienten (n=76) aus Kiel.

Betrachtet man jedoch die Prävalenz für das Risiko einer Mangelernährung ermittelt über den MNA werden knapp 8% der älteren gesunden Personen mit einem Risiko für eine Mangelernährung identifiziert. Dagegen steht eine Prävalenz von fast 70% für das Risiko einer Mangelernährung bei den älteren Patienten. Werden die beiden BMI-Gruppen (Übergewicht und Adipositas) betrachtet zeigt sich,

dass in beiden Gruppen ca. 70% der Patienten ein Risiko für eine Mangelernährung aufweisen (Abbildung 3).



**Abbildung 3** Das Vorkommen einer Mangelernährung bei älteren Patienten (n=76) mit Übergewicht und Adipositas aus Kiel.

Diese Patienten können, obwohl sie augenscheinlich nicht mangelernährt sind sowohl von einem qualitativen als auch quantitativen Mangel betroffen sein. Sie können eine Sarkopenie kombiniert mit Adipositas aufweisen, welche von einem deutlichen Verlust an Muskelmasse gekennzeichnet ist. Ein unbeabsichtigter Gewichtsverlust ist auch bei dieser Personengruppe ein Charakteristikum einer Mangelernährung. Diese Personen sind beispielsweise häufiger gebrechlich [22-26].

Das Risiko für eine Mangelernährung ist dabei abhängig vom entsprechenden Ort der Untersuchung. Im Rahmen des *MaNuEL* Projektes [27] zeigte eine europaweite Datenanalyse mit 5956 Personen (Tabelle 1), dass die Prävalenz für eine Mangelernährung (vom Untergewicht bis zum Gewichtsverlust), in Abhängigkeit vom Ort der Untersuchung (zu Hause lebend bis Akutkrankenhaus) zwischen 4,2% und 18,2% liegt. Betrachtete man den ungewollten Gewichtsverlust ergaben sich Prävalenzen zwischen 2,3% bis 14%. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil an Personen der von einer Mangelernährung betroffen ist, umso größer ist je morbider die betrachtete Personengruppe und je detaillierter die Charakterisierung der Mangelernährung wird. In der Übersichtsarbeit wurden Daten aus unterschiedlichen europäischen Ländern und Neuseeland betrachtet sowie einheitliche Kriterien zur Erfassung des Risikos für eine Mangelernährung angewendet.

**Tabelle 1** Varianz in der Prävalenz von Mangelernährung in Abhängigkeit vom Ort der Untersuchung und den Charakteristika der Mangelernährung (Tabelle adaptiert nach [27]).

Ort der Untersuchung	Untergewicht <sup>1</sup>	Untergewicht (nach Alter) <sup>2</sup>	Gewichtsverlust <sup>3</sup>
zu Hause lebend	0-4%	1-13,5%	2-10,5%
Geriatrische Klinik	2-9%	6-18%	6-13%
Pflegeheim	4-18%	8-34%	4-8%
Akutkrankenhaus	4,5-9%	11-19%	5-14%

<sup>1</sup>BMI <20 kg/m<sup>2</sup>; <sup>2</sup>BMI <20 kg/m<sup>2</sup> (≥65 Jahre) und BMI <22 kg/m<sup>2</sup> (≥70 Jahre) und <sup>3</sup>>3 kg (letzte 3 Monate) oder >5 kg (letzten 6 Monate).

Morbidität [28], Re-Hospitalisierung [29] und Mortalität [30] sind beim mangelernährten Patienten meist höher als beim gut ernährten Patienten. Im Rahmen des „nutritionDay in Pflegeheimen 2007“ [31] wurde der Ernährungsstatus sowie die Versorgung von 2137 Bewohnern in Pflegeheimen erfasst. Knapp 17% der Bewohner wiesen eine quantitative Mangelernährung auf (BMI <20 kg/m<sup>2</sup>) und weitere 14% hatten das Risiko eine Mangelernährung zu entwickeln. Ein ungewollter Gewichtsverlust lag bei 9% der Bewohner vor.

### Ernährungsmedizinische Optionen zur Prävention und Behandlung der Mangelernährung

Betrachtet man den Kreislauf der Mangelernährung in Abbildung 1 wird ersichtlich, dass es unterschiedliche Ansatzpunkte zur Unterbrechung dieses Kreislaufs gibt. Auf der Ernährungsseite sind dies beispielsweise die Energie- und Nährstoffzufuhr. Das folgende **Fallbeispiel** zeigt, wie durch den Einsatz entsprechender Lebensmittel die Protein- und Energiezufuhr erhöht werden kann.

**Fallbeispiel:** Mann, 69 Jahre, 83,5 kg, 1,78 m, BMI 26,3 kg/m<sup>2</sup>, Fettfreie Masse 57,8 kg, Energiebedarf 2382 kcal/Tag und Proteinzufuhrempfehlung 83 g

aktueller Speiseplan				optimierter Speiseplan			
Lebensmittel	Menge	Energie	Kohlenhy.	Lebensmittel	Menge	Energie	Kohlenhy.
<b>Frühstück</b>				<b>Frühstück</b>			
Weißbrot-Toastbrot	60 g	156.5 kcal	28.9 g	Weißbrot-Toastbrot	60 g	156.5 kcal	28.9 g
Marmelade	40 g	113.1 kcal	27.7 g	Marmelade	40 g	113.1 kcal	27.7 g
Butter	10 g	74.1 kcal	0.1 g	Butter	10 g	74.1 kcal	0.1 g
Kaffee (Getränk)	450 g	9.7 kcal	1.4 g	Kaffee (Getränk)	450 g	9.7 kcal	1.4 g
				<b>Quark mind. 40% Fett i. Tr.</b>	40 g	63.5 kcal	1.0 g
<b>Mittagessen</b>				<b>Mittagessen</b>			
Vollkornbrötchen	80 g	175.7 kcal	33.9 g	Vollkornbrötchen	80 g	175.7 kcal	33.9 g
Butter	10 g	74.1 kcal	0.1 g	Butter	10 g	74.1 kcal	0.1 g
Schweinefleisch Mett	40 g	111.4 kcal	0.0 g	Schweinefleisch Mett	40 g	111.4 kcal	0.0 g
Kasseler	30 g	32.6 kcal	0.0 g	<b>Gouda</b>	30 g	109.3 kcal	0.0 g
Natürliches Mineralwasser still	200 g	0.0 kcal	0.0 g	Natürliches Mineralwasser still	200 g	0.0 kcal	0.0 g
Joghurt 3,5% Fett mit Früchten	150 g	156.0 kcal	23.2 g	<b>Quark mind. 40% Fett i. Tr.</b>	200 g	317.4 kcal	5.2 g
				Himbeere roh	50 g	17.0 kcal	2.4 g
<b>Zwischendurch</b>				<b>Zwischendurch</b>			
Plätzchen Kekse	10 g	50.0 kcal	6.0 g	<b>Kuhmilch Trinkmilch 1.5% Fett</b>	30 g	14.4 kcal	1.4 g
Kaffee (Getränk)	300 g	6.5 kcal	0.9 g				
<b>Abendessen</b>				<b>Abendessen</b>			
Kartoffelsuppe (R)	350 g	297.0 kcal	31.3 g	Kartoffelsuppe (R)	350 g	297.0 kcal	31.3 g
Wiener Würstchen Konserve	140 g	365.7 kcal	0.3 g	Wiener Würstchen Konserve	140 g	365.7 kcal	0.3 g
Natürliches Mineralwasser still	200 g	0.0 kcal	0.0 g	Natürliches Mineralwasser still	200 g	0.0 kcal	0.0 g
Vollkornbrot	60 g	118.7 kcal	23.2 g	Vollkornbrot	60 g	118.7 kcal	23.2 g
Butter	5 g	37.1 kcal	0.0 g	Butter	5 g	37.1 kcal	0.0 g

Anmerkung: Die Energie- und Proteinzufuhr sind mit 1778 kcal/Tag und 64 g Protein/Tag zu niedrig (= 0,76 g Protein pro kg Körpergewicht pro Tag). Werden in diesem Fallbeispiel nur einige proteinreiche Lebensmittel ergänzt (Quark im Frühstück) beziehungsweise ersetzt (Gouda und Quarkspeise zum Mittag) führt dies zu einer Erhöhung der Energie- und Proteinzufuhr auf 2111 kcal/Tag und 83 g/Tag.

Die Empfehlung für die Proteinzufuhr liegt zurzeit bei 1,0 g pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag. Die individuell berechnete Proteinmenge versorgt dabei die Fettfreie Masse (Muskelmasse, Organmassen und weitere Weichteilgewebe) in Abhängigkeit der vorhandenen Masse unterschiedlich [32]. Diese bedeutet, dass eine Person trotz der entsprechenden Proteinzufuhr nicht adäquat mit Protein versorgt wird. Sollte eine entsprechende Erhöhung an Energie und Protein nicht über die normale Ernährung möglich sein kann man alternative Maßnahmen ergreifen. Zur Erhöhung der Energiezufuhr können energiehaltige neutral schmeckende Kohlenhydrate (z.B. Maltodextrin) oder auch entsprechende

orale Nahrungssupplemente (=Trinknahrungen) verwendet werden. Bei den oralen Nahrungssupplementen stehen unterschiedliche kalorische Varianten (normokalorisch bis hochkalorisch) zur Verfügung und auch der Gehalt an Protein kann variiert werden. Ihr Einsatz sollte jedoch immer nur zeitlich begrenzt sein und ernährungsmedizinisch begleitet werden.

### **Fazit**

Eine Mangelernährung betrifft häufiger ältere Menschen mit Erkrankungen und ist unabhängig vom Körpergewicht. Es handelt sich um ein Defizit an Energie und Nährstoffen. Die Ursachen einer Mangelernährung sind multifaktoriell und umfassen sowohl die Ernährung als auch beispielsweise mechanische (Arthritis, Rheuma oder Immobilität) oder soziale Aspekte (alleinlebend, geringe finanzielle Mittel). Das Risiko einer Mangelernährung muss insbesondere beim kranken Älteren ernährungsmedizinisch abgeklärt und eine Mangelernährung behandelt werden (z.B. über Protein-, Energiesupplemente und Bewegung).

## Referenzen:

- [1] Richard A. Settersten J, Mayer KU. The Measurement of Age, Age Structuring, and the Life Course. *Annual Review of Sociology*. 1997;23:233-61.
- [2] Austad S. Concepts and theories of aging. . In: Masoro EJ AS, editor. *Handbook of the biology of aging*. San Diego: Academic Press; 2001. p. 3 – 22
- [3] Geisler C, Braun W, Pourhassan M, Schweitzer L, Gluer CC, Bosy-Westphal A, et al. Gender-Specific Associations in Age-Related Changes in Resting Energy Expenditure (REE) and MRI Measured Body Composition in Healthy Caucasians. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2015.
- [4] Geisler C, Braun W, Pourhassan M, Schweitzer L, Gluer CC, Bosy-Westphal A, et al. Age-Dependent Changes in Resting Energy Expenditure (REE): Insights from Detailed Body Composition Analysis in Normal and Overweight Healthy Caucasians. *Nutrients*. 2016;8.
- [5] Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol (1985)*. 2000;89:81-8.
- [6] Kim YS, Lee Y, Chung YS, Lee DJ, Joo NS, Hong D, et al. Prevalence of sarcopenia and sarcopenic obesity in the Korean population based on the Fourth Korean National Health and Nutritional Examination Surveys. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2012;67:1107-13.
- [7] Kyle UG, Genton L, Hans D, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Age-related differences in fat-free mass, skeletal muscle, body cell mass and fat mass between 18 and 94 years. *Eur J Clin Nutr*. 2001;55:663-72.
- [8] (DGE) DGfE. Mangelernaehrung\_im\_Alter. [https://www.fitimalter-dgede/fileadmin/user\\_upload/medien/Mangelernaehrung\\_im\\_Alterpdf](https://www.fitimalter-dgede/fileadmin/user_upload/medien/Mangelernaehrung_im_Alterpdf) Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) 2014.
- [9] Hesecker HS, P. Ernährung älterer Menschen in stationären Einrichtungen (ErnSTES-Studie). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) 2008.
- [10] Cederholm T, Bosaeus I, Barazzoni R, Bauer J, Van Gossum A, Klek S, et al. Diagnostic criteria for malnutrition - An ESPEN Consensus Statement. *Clin Nutr*. 2015;34:335-40.
- [11] Donini LM, Scardella P, Piombo L, Neri B, Asprino R, Proietti AR, et al. Malnutrition in elderly: social and economic determinants. *J Nutr Health Aging*. 2013;17:9-15.
- [12] Streicher M, van Zwiene-Pot J, Bardon L, Nagel G, Teh R, Meisinger C, et al. Determinants of Incident Malnutrition in Community-Dwelling Older Adults: A MaNuEL Multicohort Meta-Analysis. *J Am Geriatr Soc*. 2018;66:2335-43.
- [13] van der Pols-Vijlbrief R, Wijnhoven HA, Schaap LA, Terwee CB, Visser M. Determinants of protein-energy malnutrition in community-dwelling older adults: a systematic review of observational studies. *Ageing Res Rev*. 2014;18:112-31.
- [14] Saif T, Strain GW, Dakin G, Gagner M, Costa R, Pomp A. Evaluation of nutrient status after laparoscopic sleeve gastrectomy 1, 3, and 5 years after surgery. *Surgery for obesity and related diseases : official journal of the American Society for Bariatric Surgery*. 2012;8:542-7.
- [15] Earthman CP. Body Composition Tools for Assessment of Adult Malnutrition at the Bedside:A Tutorial on Research Considerations and Clinical Applications. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2015;39:787-822.

- [16] Fearon KC. Cancer cachexia and fat-muscle physiology. *The New England journal of medicine*. 2011;365:565-7.
- [17] Prado CM, Heymsfield SB. Lean tissue imaging: a new era for nutritional assessment and intervention. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2014;38:940-53.
- [18] Prado CM, Siervo M, Mire E, Heymsfield SB, Stephan BC, Broyles S, et al. A population-based approach to define body-composition phenotypes. *Am J Clin Nutr*. 2014;99:1369-77.
- [19] Zürcher G, Fassi-Garbani, E. *Geriatrische Malnutrition*. Wien: Springer Verlag; 2010.
- [20] Power L, de van der Schueren MAE, Leij-Halfwerk S, Bauer J, Clarke M, Visser M, et al. Development and application of a scoring system to rate malnutrition screening tools used in older adults in community and healthcare settings &#x2013; A MaNuEL study. *Clinical Nutrition*.
- [21] Power L, Mullally D, Gibney ER, Clarke M, Visser M, Volkert D, et al. A review of the validity of malnutrition screening tools used in older adults in community and healthcare settings - A MaNuEL study. *Clin Nutr ESPEN*. 2018;24:1-13.
- [22] Baumgartner RN, Wayne SJ, Waters DL, Janssen I, Gallagher D, Morley JE. Sarcopenic obesity predicts instrumental activities of daily living disability in the elderly. *Obesity research*. 2004;12:1995-2004.
- [23] Bollwein J, Volkert D, Diekmann R, Kaiser MJ, Uter W, Vidal K, et al. Nutritional status according to the mini nutritional assessment (MNA(R)) and frailty in community dwelling older persons: a close relationship. *J Nutr Health Aging*. 2013;17:351-6.
- [24] Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick E, Goodpaster B, Nevitt M, et al. Sarcopenia: Alternative Definitions and Associations with Lower Extremity Function. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2003;51:1602-9.
- [25] Prado CMM, Wells JCK, Smith SR, Stephan BCM, Siervo M. Sarcopenic obesity: A Critical appraisal of the current evidence. *Clinical Nutrition*. 2012;31:583-601.
- [26] Stenholm S, Harris TB, Rantanen T, Visser M, Kritchevsky SB, Ferrucci L. Sarcopenic obesity: definition, cause and consequences. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2008;11:693-700.
- [27] Wolters M, Volkert D, Streicher M, Kiesswetter E, Torbahn G, O'Connor EM, et al. Prevalence of malnutrition using harmonized definitions in older adults from different settings - A MaNuEL study. *Clin Nutr*. 2018.
- [28] Ahmed T, Haboubi N. Assessment and management of nutrition in older people and its importance to health. *Clinical interventions in aging*. 2010;5:207-16.
- [29] Deutz NE, Matheson EM, Matarese LE, Luo M, Baggs GE, Nelson JL, et al. Readmission and mortality in malnourished, older, hospitalized adults treated with a specialized oral nutritional supplement: A randomized clinical trial. *Clinical Nutrition*. 2016;35:18-26.
- [30] Soderstrom L, Rosenblad A, Thors Adolfsson E, Bergkvist L. Malnutrition is associated with increased mortality in older adults regardless of the cause of death. *Br J Nutr*. 2017;117:532-40.
- [31] Valentini L, Schindler K, Schlaffer R, Bucher H, Mouhieddine M, Steininger K, et al. The first nutritionDay in nursing homes: participation may improve malnutrition awareness. *Clin Nutr*. 2009;28:109-16.

[32] Geisler C, Prado CM, Muller MJ. Inadequacy of Body Weight-Based Recommendations for Individual Protein Intake-Lessons from Body Composition Analysis. *Nutrients*. 2016;9.