

Hans Eisenmann-Zentrum

8. Agrarwissenschaftliches Symposium

21. September 2017

Herausforderung Klimawandel

Tagungsband



Impressum

Herausgeber:

Hans Eisenmann-Zentrum

Zentralinstitut für Agrarwissenschaften der Technischen Universität München

Liesel-Beckmann-Str. 2

85354 Freising

Tel: +49.8161.71.3464

Fax: +49.8161.71.2899

E-mail: Hans-Eisenmann-Zentrum@wzw.tum.de

Internet: www.hez.wzw.tum.de

Redaktion:

Claudia R. Luksch

Titelbild:

Uli Benz/TUM

Vorwort

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen für unsere Gesellschaft in der heutigen Zeit. Von den damit einhergehenden Veränderungen wie zunehmenden Klimaschwankungen, wärmeren Temperaturen, veränderten Niederschlagsbedingungen über den Jahresverlauf und Wetterextremen ist auch die Landwirtschaft in Bayern stark betroffen. Diese abiotischen Stressfaktoren wirken sich ungünstig auf die Erträge in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion aus.

Allerdings ist der Landwirtschaftssektor nicht nur betroffen vom Klimawandel– er ist zugleich auch durch die Freisetzung von klimaschädlichen Treibhausgasen ein Mitverursacher des Klimawandels. Das 8. Agrarwissenschaftliche Symposium „Herausforderung Klimawandel“ widmet sich in Vorträgen und Posterpräsentationen den Phänomenen des Klimawandels, ihren Ursachen in der Landwirtschaft und ihren Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Der Themenbereich wird aus verschiedenen Perspektiven (Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Nutztierhaltung, Klimaschutzpolitik und Ökonomie) betrachtet, und es werden Möglichkeiten der Anpassung, der Mitigation, der Festlegung von Zielen und Umsetzung von Maßnahmen diskutiert.

Wir freuen uns, Sie zum diesjährigen Agrarwissenschaftlichen Symposium des Hans Eisenmann-Zentrums in Weihenstephan begrüßen zu dürfen und wünschen Ihnen einen abwechslungsreichen Tag mit spannenden, informativen Beiträgen und anregenden Diskussionen.

Ihr HEZ-Team

Das **Zentralinstitut Hans Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften** verbindet die agrarwissenschaftlich orientierten Professuren der Technischen Universität München. Schwerpunkte sind die Vernetzung der agrarwissenschaftlichen Forschung, die Initiierung gemeinsamer Forschungsvorhaben, die Vermittlung fachlicher Expertise und die Förderung des Wissenstransfers durch Vortragsveranstaltungen und Symposien für Wissenschaftler, Studierende, Praktiker und Experten der Agrarwirtschaft.

Programm

Begrüßung

- 09:15

Moderation

Tobias Chmura

Vorträge

- 09:30 – 10:30
Prof. Dr. Annette Menzel
*Professur für Öklimatologie
Technische Universität München*
Klimawandel in Bayern – Was blüht uns?
- 10:30 – 11:00 Kaffeepause/Postersession
- 11:00 – 11:30
Dipl. –Ing. Bernhard Osterburg
*Thünen-Institut Braunschweig
Stabstelle Klimaschutz*
Die Rolle der Landwirtschaft in der Klimaschutzpolitik
- 11:30 – 12:00
Prof. Dr. Urs Schmidhalter
*Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Technische Universität München*
Wenn es in Bayern 5°C wärmer wird – Mitigation und Anpassung im Pflanzenbau
- 12:00 – 14:00 Mittagspause/Postersession

- **14:00 – 14:30**
Dr. Eva Bauer
Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
Technische Universität München
**Anpassung von Nutzpflanzen an den Klimawandel –
Einsatz moderner Züchtungsmethoden**

- **14:30 – 15:00**
Eidg. Dipl. Biol. Daniel Bretscher
Agroscope Zürich
Universität Bern, Schweiz
**Treibhausgasemissionen aus der Nutztierhaltung:
Wie stark belasten unsere Kühe das Klima?**

15:00 – 15:30 Kaffeepause/Postersession

- **15:30 – 16:00**
Prof. Dr. Hermann Lotze-Campen
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
**Ökonomische Effekte von Klimawirkungen und Emissionsvermeidung in der
Landwirtschaft**

- **16:00 – 16:30**
Dr. Anton Steiner
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
Monitoring, Wasserhaushalt und Warndienste
**Niedrigwasser und Trockenheit: Auswirkungen und Maßnahmen der
Wasserwirtschaft in Bayern**

Podiumsdiskussion mit allen Referenten

- **16:30**

Schlusswort

- ca. **17:00**

Abstracts

Inhaltsverzeichnis Vorträge

Klimawandel in Bayern – was blüht uns? <i>Prof. Dr. Annette Menzel</i>	9
Die Rolle der Landwirtschaft in der Klimaschutzpolitik <i>Bernhard Osterburg</i>	13
Wenn es in Bayern 5° C wärmer wird – Mitigation und Anpassung im Pflanzenbau <i>Prof. Dr. Urs Schmidhalter</i>	17
Anpassung von Nutzpflanzen an den Klimawandel – Einsatz moderner Züchtungsmethoden <i>Dr. Eva Bauer</i>	21
Treibhausgasemissionen aus der Nutztierhaltung: Wie stark belasten unsere Kühe das Klima? <i>Daniel Bretscher</i>	25
Economic effects of climate change and emission mitigation on agriculture [Ökonomische Effekte von Klimawirkungen und Emissionsvermeidung in der Landwirtschaft] <i>Prof. Dr. Hermann Lotze-Campen</i>	29
Niedrigwasser und Trockenheit: Auswirkungen und Maßnahmen der Wasserwirtschaft in Bayern <i>Dr. Anton Steiner</i>	33

Inhaltsverzeichnis Poster

Themenbereich Klimawandel

Energie- und Treibhausgasbilanzierung landwirtschaftlicher Biogassysteme – Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells <i>Tobias Böswirth</i>	41
Biogassubstrate – Mehr Effizienz durch angepasste Sortenwahl bei Getreide-Ganzpflanzensilage <i>Dorothea Hofmann</i>	43
Wachstum und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen im Klimawandel <i>Thomas Rötzer</i>	45

Herausforderung Klimawandel

StaPlaRes – N-Stabilisierung und wurzelnahe Platzierung als innovative Technologien zur Optimierung der Ressourceneffizienz bei der Harnstoffdüngung <i>Beat Vinzent</i>	49
Biotechnical approach against varroa mites in apiculture – opportunities for animal health by climate change effects <i>Jochen Wiecha</i>	51
Weizen- und Maiserträge unter erhöhten Temperaturen in Bayern <i>Sibel Yildirim</i>	53
Spitzenforschung in Bayern – BayKlimaFit Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, C.C. Schön	55
BayKlimaFit – Strategien zu Anpassung von Kulturpflanzen an den Klimawandel Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, C.C. Schön	57
 <u>Poster zu laufenden Arbeiten am HEZ</u>	
Interaktionen zwischen Kohlenhydrat- und Proteinstoffwechsel von Getreiden und Leguminosen im Verlauf der Keimung in vitro <i>Daniel Brugger (M. Hanauer, J. Orthner, W. Windisch)</i>	61
Regulation der Zinkhomöostase im Absetzferkel in Verlauf eines kurzfristigen, subklinischen Zinkmangels <i>Daniel Brugger (M. Hanauer, J. Orthner, W. Windisch)</i>	65
Eine Absenkung des Verhältnisses von neutraler Detergentienfaser zu leichtlöslichen Kohlenhydraten induziert Kompensationsreaktionen im Pansenepithel wachsender Bullen der Rasse Bayerisches Fleckvieh <i>Daniel Brugger (T. Ettle, S. Mangert, W. Windisch)</i>	69



Annette Menzel

Professur für Ökoklimatologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
Technische Universität München
Hans-Carl-von-Carlowitz Platz 2, 85354 Freising

Klimawandel in Bayern – was blüht uns?

Globale Veränderungen

Die Erwärmung unseres Klimasystems ist eindeutig und der Einfluss des Menschen auf die beobachteten Veränderungen in der Vergangenheit klar (IPCC Sachstands- und Synthesebericht 2013 / 14). Seit 1880 ist die globale Mitteltemperatur um 0,85 °C gestiegen. Die letzten drei Jahrzehnte waren alle wärmer als die entsprechenden 10-Jahreszeiträume seit 1850 und auf der Nordhalbkugel möglicherweise sogar die wärmste 30-Jahresperiode seit 600 n. Chr. Diese Klimaveränderungen zeigen sich nicht nur im Temperaturanstieg, sondern auch in Änderungen der jährlichen Niederschlagsmengen, bei denen - regional unterschiedlich - sowohl Zunahmen als auch Abnahmen zu verzeichnen sind. Die Ozeane haben sich ebenfalls deutlich erwärmt, der globale Meeresspiegel ist seit 1901 im Durchschnitt um 0,19 m angestiegen, während der pH-Wert des Meeresoberflächenwassers um 0.1 Einheiten abgenommen hat. Gletscher sowie das grönländische und antarktische Eisschild zeigen in den letzten drei Jahrzehnten alle Massenverluste, die arktische Meereisbedeckung nahm in diesem Zeitraum um 3.5 % / Jahr ab, Permafrosttemperaturen sind seit den 1980er Jahren angestiegen und die Schneebedeckung auf der Nordhalbkugel ist im Frühjahr stark zurückgegangen. Ursächlich für diese globalen Veränderungen sind die anthropogenen Treibhausgasemissionen, die im Vergleich zur vorindustriellen Zeit stark angestiegen sind. Aufgrund von Analysen von Eisbohrkernen aus der Antarktis weiß man, dass die derzeitigen atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas die mit Abstand höchsten in den letzten 800000 Jahren sind.

Die Folgen des Klimawandels für natürliche Systeme und den Menschen sind auf allen Kontinenten und in allen Weltmeeren spürbar und nachgewiesen. Sie reichen von Änderungen in Ökosystemen, wie Änderung von Verbreitungsgebieten, jahreszeitlichen Aktivitäten oder Migrationsmustern, über Änderungen in Land- und Forstwirtschaft bis hin zu nachgewiesenen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, etwa durch eine längere und intensivere Pollensaison. In vielen Fällen ist es so, dass die negativen Folgen, etwa durch vermehrte Hitzetote oder landwirtschaftliche Dürreschäden, die positiven Aspekte, wie geringere menschliche Sterblichkeit in Wintermonaten oder neue Produktionsmöglichkeiten in kälteren Regionen, wettmachen. Die beobachteten Veränderungen bei vielen Wetter- und Klimaereignissen, wie Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen oder Waldbränden, zeigen die große Verbundbarkeit gegenüber dem Klimawandel an. Die projizierten Änderungen im Klimasystem hängen stark von der Klimapolitik und der sozioökonomischen Entwicklung ab. Aber ein weiterer Temperaturanstieg mit häufigeren Hitzewellen und extremen Niederschlagsereignissen und ein weiterer Meeresspiegelanstieg sind in jedem Fall wahrscheinlich.

Beobachtete Klimaänderungen in Bayern

Bis auf Meereseerwärmung, -versauerung und Meeresspiegelanstieg sowie Abschmelzen von Inlandeis sind alle beschriebenen globalen Klimaveränderungen im Prinzip auch in Bayern zu finden. Ähnlich der Messstation Mauna Loa (Hawaii) zeigt auch die Global Atmospheric Watch (GAW) Station des Umweltbundesamtes auf der Zugspitze / der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus den übereinstimmenden Anstieg der atmosphärischen Kohlendioxid-Konzentration an.

Der Anstieg der Mitteltemperatur seit 1881 fällt in Bayern mit $\sim 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sogar fast doppelt so stark aus wie im globalen Mittel, ähnlich auch der Mitteltemperatur für Deutschland (Abb. 1). Die saisonalen Temperaturtrends in Bayern seit 1931 zeigen eine stärkere Erwärmung im Winter und im Frühjahr an, damit verbunden natürlich eine deutliche Abnahme von Eis- und Frosttagen sowie eine Zunahme von Sommertagen und heißen Tagen.

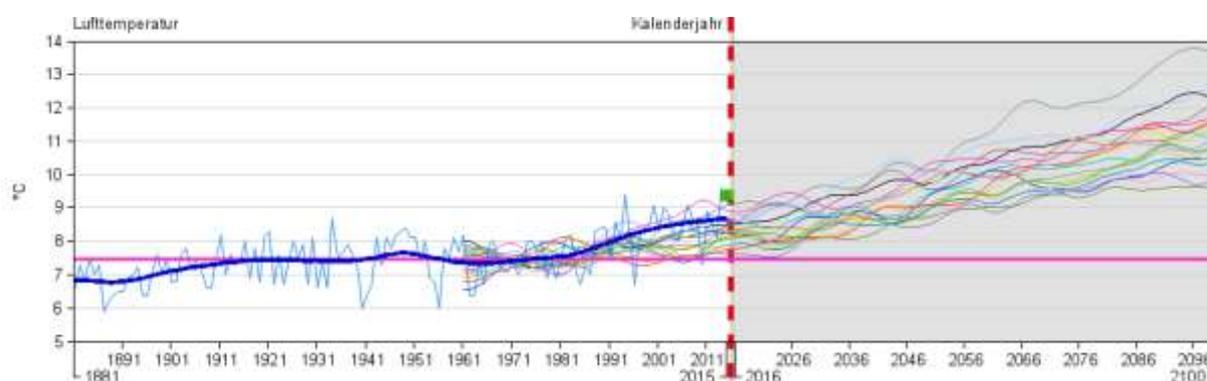


Abb. 1: Zeitreihen der Jahresmitteltemperatur in Bayern 1881-2015 (blau – einzelne Jahre, dunkelblau – 30jährige Mittelwerte, pink – Mittelwert für den Zeitraum 1961-1990) und Ergebnisse von Klimamodellen für das A1B Klimaszenario 2016 – 2100 (Quelle: Deutscher Klimaatlas, DWD)

Die jährlichen Niederschlagssummen in Bayern haben sich seit 1931 wenig geändert (Abb. 2). Aber in Franken sind die sommerlichen Niederschläge zurückgegangen, während im Winterhalbjahr es in ganz Bayern mehr Niederschläge gegeben hat, häufig aber nur als Regen, denn die Schneedeckendauer hat kontinuierlich abgenommen. Auch in Deutschland / Bayern haben Extremereignisse zugenommen und eine Anpassung an Hitzewellen, Dürren und Starkniederschlag ist notwendig. Die globalen Simulationen zeigen auch für Mitteleuropa, und bei einer feineren räumlichen Auflösung im sogenannten „Downscaling“ auch für Deutschland und Bayern, einen weiteren, überproportionalen Temperaturanstieg an, während die Änderungen im Niederschlagsregime wenig ausgeprägt sind.

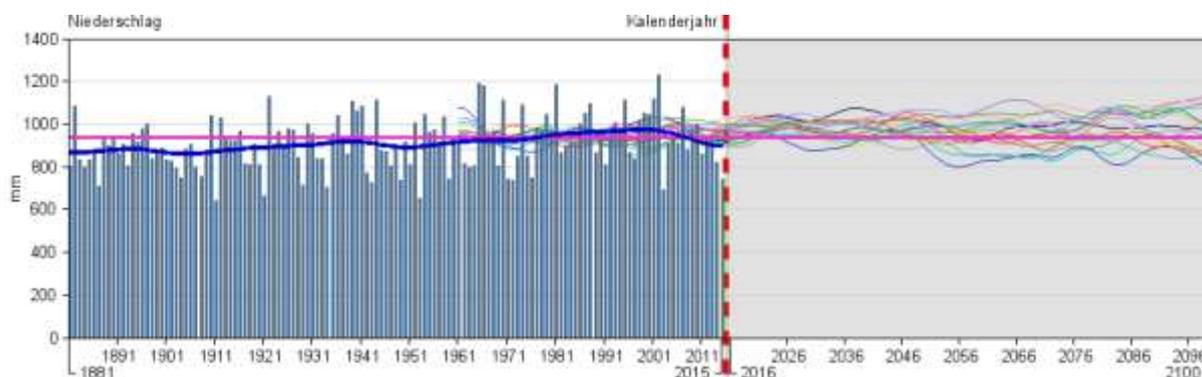


Abb. 2: Zeitreihen Jahresniederschlagssummen in Bayern 1881-2015 und Ergebnisse von Klimamodellen für das A1B Klimaszenario 2016 – 2100 (Quelle: Deutscher Klimaatlas, DWD)

Beobachtete und prognostizierte Folgen des Klimawandels

Die Temperaturzunahme in den Alpen ist mit 1,5 bis 2 °C nahe zu doppelt so groß wie im globalen Durchschnitt und hat die Schneegrenze um bis zu 300 m ansteigen lassen. Im Hitzesommer 2003 lag die 0 °C-Grenze sogar bei über 4000 m. Die fünf bayerischen Gletscher mit derzeit ~ 70 ha Fläche werden in in naher Zukunft – bis auf den Höllentalferner auf der Zugspitze – fast vollständig verschwunden sein (BayStMUG, 2012). Aber auch der Permafrost im Alpenraum ist stark zurückgegangen. Das bayerische Landesamt für Umwelt erwartet bis Ende des Jahrhunderts ein Verschwinden des Permafrostes an der Zugspitze durch den weiteren prognostizierten Temperaturanstieg. So ist in Zukunft im Hochgebirge mit mehr Steinschlägen und Felsstürzen zu rechnen (LfU, 2017). In Bayern konnte insbesondere eine Zunahme von Starkniederschlagsereignissen beobachtet werden.

Sehr augenscheinlich sind die Änderungen in der Pflanzen- und Tierwelt: Phänologische Ereignisse, wie Austrieb, Blüte, Fruchtreife oder Eiablage, Ankunft von Zugvögeln, sind mit der zunehmenden Erwärmung immer früher zu beobachten (Menzel et al. 2006). Diese phänologischen Verschiebungen können große Auswirkungen haben und beispielsweise einen Anstieg der Spätfrostgefahr sowie Störungen in Nahrungsnetzen oder in anderen Prozessen, die eine zeitliche Synchronität in Ökosystemen voraussetzen, bedingen (Walther et al. 2002). Durch einen früheren Start der Blüte, eine längere und intensivere Pollensaison sowie eine höhere Allergenität von Pollen ist die menschliche Gesundheit in Bayern ebenfalls vom Klimawandel betroffen (Menzel und Jochner 2016).

Die regionalen Folgen des Klimawandels können in Bayern variieren: In Unterfranken sind verstärkt Hitzewellen, heiße Tagen und Tropennächten zu erwarten, die die menschliche Gesundheit sowie die Land- und Forstwirtschaft treffen werden. In Mittel- und Unterfranken wird sich durch zukünftig abnehmende Niederschläge sowie steigende Temperaturen die sommerliche Trockenheit verstärken und hier ebenfalls Land-, Forst- und Wasserwirtschaft negativ beeinflussen. In den Alpen, die am stärksten vom Klimawandel betroffen sein werden, werden die Auswirkungen vor allem die Biodiversität, Tourismus und Infrastruktur treffen (Umweltbundesamt 2015).

Herausforderungen für die Land- und Forstwirtschaft

Land- und Forstwirtschaft in Bayern sind ganz erheblich vom Klimawandel betroffen. Eine längere Vegetationsperiode und höhere Kohlendioxid-Konzentrationen können das Pflanzenwachstum zwar fördern oder den Anbau anderer Arten und Sorten erlauben, allerdings gibt es eine sehr lange Reihe von Beeinträchtigungen durch den Klimawandel:

- Ertrags- / Zuwachseinbußen durch Hitze, Dürre, Spätfröste, Nässe, Starkregen, Hagel
- Vermehrtes oder neues Auftreten von Schädlingen sowie Pflanzenkrankheiten
- Gestiegener Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft, höheres Erosionsrisiko
- Risiko durch Stürme und Waldbrände, Trockenheitsschäden und Mortalität in der Forstwirtschaft

Aktuelle Forschungsergebnisse der Professur für Ökologiklimatologie zeigen die große Rolle von Extremereignissen auf, beispielsweise durch winterliche Waldbrände im Alpenraum (Schunk et al. 2013), Kiefern Schäden in Franken nach dem Hitzesommer 2015 (Gößwein et al. 2017), Spätfrostschäden in Waldbeständen (Menzel et al. 2015), Verstärkung von Ertragsrückgängen und Preisanstiegen bei landwirtschaftlichen Produkten bei Erwärmung und Trockenheit (Matiu et al. 2017) sowie Dürre und Zuwachsrückgänge in Waldbeständen (Bhuyan et al. 2017).

Literatur

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2017)

<https://www.lfu.bayern.de/geologie/permafrost/zugspitze/index.htm>

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2012) Bayerisches Gletscher im Klimawandel – ein Statusbericht (www.klima.bayern.de).

Bhuyan U, Zang C, Menzel A (2017) Different responses of multispecies tree ring growth to various drought indices across Europe. *Dendrochronologia* **44**, 1-8

Gößwein S, Lemme H, Buras A, Schunk C, Menzel A, Straub C, Metter T, Taeger S (2017) Kiefern Schäden in Bayern. *LWF-Aktuell* **112**, 12-13.

IPCC, 2014: Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016 (<http://www.de-ipcc.de>)

Matiu M, Ankerst DP, Menzel A (2017) Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961-2014. *PLOS ONE* (doi: 10.1371/journal.pone.0178339).

Menzel A, Sparks T, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissolli P, Braslavská O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl Å, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatczak K, Måge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remišová V, Scheifinger H, Striz M, Susnik A, van Vliet AJH, Wielgolaski FE, Zach S, Züst A (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* **12**(10), 1969-1976

Menzel A, Helm R, Zang C (2015) Patterns of late spring frost leaf damage and recovery in a European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand in south-eastern Germany based on repeated digital photographs. *Frontiers in Plant Science* **6**, 110

Menzel A, Jochner S (2016) Impacts of Climate Change on Aeroallergen Production and Atmospheric Concentration. In: Beggs P (Ed.) *Impacts of Climate Change on Allergens and Allergic Diseases*. Cambridge University Press 978-1-107-04893-5, 10-28.

Schunk C, Wastl C, Leuchner M, Schuster C, Menzel A (2013) Forest fire danger rating in complex topography – results from a case study in the Bavarian Alps in autumn 2011. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **13**(9), 2157–2167

Umweltbundesamt (2015) adelphi / PRC / EURAC: Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau.

Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* **416**(6879), 389-395.



Bernhard Osterburg

Stabsstelle Klimaschutz des Thünen-Instituts
Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Die Rolle der Landwirtschaft in der Klimaschutzpolitik

Einleitung

Das Pariser Klimaschutzabkommen, die EU- und die deutsche Klimapolitik legen ehrgeizige Ziele für die Minderung der Treibhausgas-(THG)-Emissionen fest. Alle Bereiche der Wirtschaft sind gefordert, Emissionen zu senken. Im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung sind auch Beiträge der Landwirtschaft eingeplant. Wie diese konkret gewährleistet werden können, stellt eine Herausforderung für Politik, Wirtschaft und Forschung dar.

Klimaschutzziele auf internationaler, EU- und Bundesebene

Das Pariser Klimaschutzabkommen, das auf der Weltklimakonferenz im Dezember 2015 in Paris abgestimmt und im November 2016 in Kraft getreten ist, regelt die internationale Klimaschutzpolitik nach dem Jahr 2020. Das Abkommen verfolgt das Ziel, die globale Erderwärmung auf unter 2°C und nach Möglichkeit auf unter 1,5°C zu beschränken. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts soll weltweit THG-Neutralität erreicht werden. Das Abkommen soll auch die Konsistenz der Finanzmittelflüsse mit Klimazielen, die finanzielle Unterstützung für Entwicklungsländer, Technologietransfer und den Umgang mit Verlusten und Schäden durch den Klimawandel regeln. Es löst das Kyoto-Protokoll ab, unter dem aktuell neben der EU nur noch wenige andere Industriestaaten Klimaschutzverpflichtungen eingegangen sind. Künftig sind alle Staaten formal gleichgestellt. Sie müssen ihre Klimaschutzbeiträge in den „Nationally Determined Contributions“ (NDCs) festlegen. Deren Ambitionsniveau soll im Rahmen der alle 5 Jahre vorgesehenen Bestandsaufnahmen überprüft und ggf. gesteigert werden.

Die EU hat eine Reduzierung der THG-Emissionen bis 2030 gegenüber 1990 um 40 % als Ziel festgelegt. Die großen Emittenten der Energiewirtschaft und der Industrie, die unter das Europäische Emissionshandelssystem fallen, sollen die Emissionen bis 2030 gegenüber 2005 um 43 % senken, in den anderen Sektoren sind es 30 %. Zu diesen anderen Sektoren zählen auch die Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft. Die THG-Quellgruppe „LULUCF“ (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) soll ab 2021 als dritte Säule in die EU-Klimaschutzpolitik einbezogen werden. Dafür hat die EU-Kommission im Juli 2016 separate Anrechnungsregeln vorgeschlagen, die sich noch in der politischen Diskussion befinden. Inwieweit die Landwirtschaft zur

Erreichung der Klimaschutzziele beitragen soll, liegt in der Entscheidung der einzelnen EU-Mitgliedstaaten.

Die Bundesregierung hat im November 2016 mit dem Klimaschutzplan 2050 die künftigen Beiträge Deutschlands zum Klimaschutz festgelegt. Bis zum Jahr 2030 sollen die Emissionen (ohne die Quellgruppe LULUCF) um ca. 55 % reduziert werden. Im Jahr 2018 soll eine Folgenabschätzung für die im Klimaschutzplan beschlossenen Maßnahmen als Grundlage einer genaueren Planung der Umsetzung vorgelegt werden. Für die Landwirtschaft wird im Klimaschutzplan eine Reduzierung der direkten Methan- und Lachgasemissionen zuzüglich der direkten energiebedingter Emissionen bis 2030 um 31-34 % gegenüber 1990 festgelegt. Das entspricht einer Reduzierung von 88 Mio. t CO₂-Äquivalenten im Jahr 1990 bzw. 72 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2014 auf 58 - 61 Mio. t CO₂-Äqu. im Jahr 2030 (BMUB, 2016, Tabelle 1 auf S. 8). Die Quellgruppe LULUCF soll auch künftig eine „Nettosenke“ bleiben, also netto keine THG-Emissionen verursachen (BMUB, 2016, S. 67). Dies bedeutet, dass die Emissionen aus den Flächennutzungskategorien Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen durch Kohlenstoffeinbindungen in Wäldern und Holzprodukten kompensiert werden sollen.

Herausforderungen für die Landwirtschaft

Der deutsche Klimaschutzplan definiert konkrete Minderungsziele für die direkten THG-Emissionen aus der Landwirtschaft. Demgegenüber haben der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz und der Wissenschaftliche Beirat für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft in ihrem Klimaschutzgutachten (Weingarten et al., 2016) von verbindlichen, sektorspezifischen Minderungszielen abgeraten.

Die Landwirtschaft kann nicht in gleichem Maß zum Klimaschutz beitragen wie die Energiewirtschaft, da die Methan- und Lachgasemissionen aus natürlichen Prozessen stammen. Diese Emissionen lassen graduell mindern, aber nie ganz vermeiden. Eine Anrechnung der Klimaschutzwirkungen der energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Anbaubiomasse, z. B. zur Biogasproduktion, ist im Klimaschutzplan nicht vorgesehen, zumal der Beitrag der Bioenergie zum Klimaschutz als begrenzt angesehen und relativiert wird. Die sektorale Abgrenzung hat somit Einfluss auf die Wirkungen der Minderungsverpflichtung und die in Frage kommenden Minderungsmaßnahmen.

Die Beiträge der Landwirtschaft sind somit im Bereich der Methan- und Lachgasemissionen aus der Verdauung, der Wirtschaftsdüngerlagerung, aus der Düngung und aus landwirtschaftlichen Böden und zu mindern. Hinzu kommen Maßnahmen zur Minderung der energiebedingten, direkten Emissionen (Energieeinsparungen, Einsatz erneuerbarer Energien). Im Klimaschutzplan werden die folgenden Maßnahmenbereiche genannt:

- Stärkere klimapolitische Ausrichtung der Agrarpolitik
- Weitere Senkung der Stickstoffüberschüsse (Ziel: 70 kg N/ha Gesamtbilanzsaldo in 2030) und der Ammoniakemissionen (bis 2030 um 29 % auf Basis des Jahres 2005 gemäß EU-Richtlinie 2016/2284)
- Erhöhung des Flächenanteils des Ökologischen Landbaus
- Stärkung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft
- Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung (Forschung, Gesamtstrategie zur Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung bis 2021)
- Entwicklung innovativer Klimaschutzkonzepte im Agrarbereich

- Vermeidung von Lebensmittelabfällen

Konkrete Beiträge zur Emissionsminderung sind vor allem von einer Reduzierung der Stickstoffüberschüsse und einer verstärkten Nutzung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen (zur Vermeidung der Methanemissionen aus der Dunglagerung) zu erwarten. Im Gegensatz zum Klimaschutzplan wird im Klimaschutzgutachten eine pauschale Förderung des Ökolandbaus allein aus Gründen des Klimaschutzes als nicht zielführend bewertet (Weingarten et al., 2016). Dies hängt mit den deutlich geringeren Ertragsleistungen des Ökolandbaus und der damit verbundenen, geringeren Effizienz der Flächennutzung zusammen. Eine Verringerung der Lebensmittelabfälle vermindert zwar die konsumbezogenen THG-Emissionen im Ernährungsbereich, hat aber nicht unmittelbar zur Folge, dass sich auch die Emissionen aus der deutschen Agrarproduktion verringern.

Für die Quellgruppe LULUCF nennt der Klimaschutzplan die folgenden Maßnahmen:

- Erhalt von Dauergrünland:
- Schutz von Moorböden
- Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat
- Reduzierung des Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2020 auf 30 ha pro Tag

Die Emissionen in der Quellgruppe LULUCF lassen sich nur langfristig mindern. Die im Rahmen der EU-Agrarpolitik und durch Länderregelungen umgesetzte Grünlanderhaltung trägt dazu bei, dass die Emissionen aus der Umwandlung in Ackerland zurückgehen. Besonders hohe Emissionen entstehen durch Torfzersetzung aus entwässerten Moorböden. Eine Erhaltung des Torfs kann durch Erhöhung der Wasserstände erreicht werden, was jedoch die bisherige, in erster Linie landwirtschaftliche Flächennutzung der Moorböden in Frage stellt. Da von solchen Veränderungen viele Flächennutzer betroffen sind, bestehen hier viele Hemmnisse. Fördernd wirken kann die Entwicklung „nasser Nutzungen“ durch sogenannte Paludikulturen, wie beispielsweise der Anbau von Schilf oder Rohrkolben. Auch die Reduzierung der Torfnutzung und die Begrenzung der Siedlungs- und Verkehrsflächenzunahme werden sich nur schrittweise und langfristig umsetzen lassen.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Klimaschutzplan 2050 festgelegten Minderungsziele für die Landwirtschaft bis zum Jahr 2030 lassen sich nur unter günstigen Bedingungen und durch Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen erreichen. Zur Extensivierung der Agrarproduktion als Klimaschutzmaßnahme, etwa durch Umstellung auf Ökolandbau, gibt es in der Wissenschaft auch kritische Stimmen.

Im aktuellen Projektionsbericht (Bundesregierung, 2017) wird ein deutlicher Rückgang der Kohlenstoffeinbindung in Wäldern prognostiziert. Dadurch geht auch die „Kompensationswirkung“ der Forstwirtschaft zurück. Aufgrund weiterhin hoher Emissionen und zurückgehender Kohlenstoffeinbindungen kann das Ziel des Klimaschutzplans, die Quellgruppe LULUCF als „Nettosenke“ aufrecht zu erhalten, kurzfristig nicht eingehalten werden. Der politische Druck auf die mit hohen Emissionen verbundene Nutzung entwässerter Moorböden wird vor diesem Hintergrund künftig weiter steigen.

Literatur

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2016)

Herausforderung Klimawandel

Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.

Bundesregierung (2017) Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013.

Weingarten P, Bauhus J, Arens-Azevedo U, Balmann A, Biesalski HK, Birner R, Bitter AW, Bokelmann W, Bolte A, Bösch M, Christen O, Dieter M, Entenmann S, Feindt M, Gaulty M, Grethe H, Haller P, Nieberg H, Osterburg B, Rüter S, et al (2016) Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung : Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz und des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 479 p, Ber Landwirtsch SH 222.



Urs Schmidhalter

Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Department für Pflanzenwissenschaften
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Technische Universität München
Emil-Ramann-Str. 2, 85354 Freising

Wenn es in Bayern 5° C wärmer wird –

Mitigation und Anpassung im Pflanzenbau

Mitigation im Pflanzenbau

Im Jahr 2012 war die deutsche Landwirtschaft für den Ausstoß von 70 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten verantwortlich, 53% der Methan- und 77% der Lachgas-Emissionen waren durch die Landwirtschaft verursacht. Sie ist mit 7,7% aller Treibhausgasemissionen nach dem Energiebereich (83,7%) und der Industrie (7,8%) der drittgrößte Verursacher (UBA, 2014). Lachgas wird überwiegend aus der Landwirtschaft emittiert und trägt neben Methan primär zu den Emissionen aus der Landwirtschaft bei.

Hauptquellen direkter Lachgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden sind Mineraldünger (ca. 42%), gefolgt von organischen Düngern (24%) und der Nutzung organischer Böden (21%) (Dämmgen et al., 2006).

Seit dem Jahr 1990 wurden die auf den Landwirtschaftsbereich in Deutschland anfallenden THG-Emissionen bei gleichzeitiger Steigerung der Produktivität um 19% gesenkt.

Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) können durch eine Erhöhung der Stickstoffeffizienz, mit dem Ziel hoher Erträge bei reduziertem Ressourceneinsatz, vermindert werden. Optimierungen des N-Einsatzes und damit Reduktionen der THG-Emissionen können durch bessere Kenntnisse des im Boden vorhandenen verfügbaren bzw. mineralisierbaren Stickstoffs, des präziseren N-Bedarfs und des N-Status der Pflanzen, der Kenntnis der Zusammensetzung und der Wirkung flüssiger organischer Wirtschaftsdünger, sowie ihrer technischen Behandlung und ihres emissionsmindernden Einsatzes erreicht werden.

Maßnahmen, die zu einer Optimierung des N-Managements beitragen, erhöhen die N-Effizienz und reduzieren THG-Emissionen. Dazu stehen verschiedene Maßnahmen bereit bzw. sind Gegenstand laufender Untersuchungen (präzisere Düngung – Green Windows^{TUM}) (Erdle et al., 2011; Gutser et al., 2005; Li et al., 2013; Schmidhalter, 2006, 2011, 2015; Yue et al., 2015).

Als Einzelmaßnahme neben der reduzierten und optimierten N-Düngung stellt der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren in der mineralischen und organischen N-Düngung, die mit Abstand wirkungsvollste Maßnahme dar (Linzmeier et al., 2001; Akiyama et al., 2010; Schmidhalter et al., 2011). Die Reduktionen betragen bei mineralischen Düngern 40% und bei organischen Wirtschaftsdüngern bis zu 60-84%. Weniger häufige Teilgaben bei der N-Düngung tragen zu weiteren Reduktionen von Lachgasemissionen bei.

Anpassung im Pflanzenbau

Zunehmende Hitzeperioden und unregelmäßige Niederschlagsverteilungen wirken sich ungünstig auf die Erträge landwirtschaftlicher Kulturen aus. Demgegenüber stehen positive Auswirkungen durch einen früheren Wachstumsbeginn und eine beschleunigte Entwicklung im Frühjahr. Erhöhungen des CO₂-Gehalts wirken sich tendenzmäßig positiv auf die Ertragsleistung aus.

Der Einfluss künftiger Klimaänderungen lässt sich durch ertragsstatistische Modellierung vergangener Zeiträume erfassen und durch prognostische Modelle vorhersagen. Experimentelle Verifikationen, die bisher nur selten durchgeführt wurden, erlauben es mit größerer Sicherheit zukünftige Auswirkungen zu erfassen und Anpassungsstrategien abzuleiten.

Reduzierte Niederschläge in kritischen Wachstumsperioden (Bestockungsphase/Schossen) können die Ertragsleistung negativ beeinflussen (Geesing et al., 2014). Trockenstress- oder Hitzeperioden während der Blüte und der Kornfüllung wirken sich negativ auf die Erträge aus (Becker und Schmidhalter, 2017). Zur Simulation der Auswirkungen von Trockenstressperioden eignen sich rain-out shelter Versuche, wozu langjährige Erfahrungen vorliegen. Diese Versuchstechnik kann auch genutzt werden, um die Auswirkungen steigender Temperaturen auf das Pflanzenwachstum abzuklären (Becker und Schmidhalter, 2017).

Räumliche Analogien identifizieren einen anderen Teil der Welt, der derzeit Bedingungen aufweist, die vergleichbar sind mit denjenigen, die man für die Zukunft erwartet. Durch Anbau von deutschem Pflanzenmaterial in Ländern, die höhere Temperaturen bzw. intensivere Trockenperioden aufweisen, können die Folgen künftiger Klimaänderungen auf das Pflanzenwachstum ermittelt werden. Basierend auf diesem neuen Forschungsansatz wurden in den vergangenen Jahren Experimente in China und in Moldawien durchgeführt, welche es ermöglichen realistische Prognosen der Auswirkungen des Klimawandels unter bayerischen (deutschen) Bedingungen zu machen. Dadurch können deren Folgen antizipiert und geeignete Anpassungsstrategien (Selektion angepassten Pflanzenmaterials, Anbautechnik) entwickelt werden. Zugleich können durch Vergleich mit lokalem Material neue genetische Quellen der Trockenstress- und Hitzetoleranz erschlossen werden.

Mittels neu entwickelten Hochdurchsatz-Phänotypisierungsmethoden (terrestrisch auf Fahrzeugen, Drohnen) (Schmidhalter et al., 2001; Erdle et al., 2013; Barthelemy et al., 2017; Gnädinger und Schmidhalter, 2017) kann die Trockenstresstoleranz von Winterweizen, Wintergerste oder Mais bewertet werden (Winterhalter et al., 2011; El-Sayed et al., 2015; Rischbeck et al., 2016; Becker and Schmidhalter, 2017). Diese ermöglichen es durch indirekte Selektion den Züchtungsfortschritt wesentlich zu beschleunigen. Zudem kann damit eine verlässliche Basis für genomische Vorhersagen gebildet werden. Es scheint, dass innovative Phänotypisierungsmethoden zurzeit stärker zur Bereitstellung an den Klimawandel angepasster Kulturpflanzen beitragen können als die noch in den Kinderschuhen steckende Entschlüsselung bzw. Verifikation genomischer Informationen, die zu Trockenstress- und Hitzetoleranz beitragen.

Kritisch zu bewerten sind in rein grundlagenorientierten Untersuchungen sehr oft gewählte nicht-realistische Versuchsbedingungen zur Simulation von Trockenstress bzw. die bisher kaum durchgeführte Verifikation des Beitrags der molekularen Entschlüsselung in der Bewertung der Trockenstresstoleranz unter realen Feldbedingungen. In sehr vielen Experimenten wird der Umweltwirkung (GxE) häufig nicht genügend Rechnung getragen. Kontrollierte Gewächshaus-/Klimakammerexperimente haben zwar den Vorteil, dass der Einfluss der Umwelt minimiert werden kann, dabei resultieren jedoch häufig nicht realistische Trockenstressszenarien, deren Skalierbarkeit auf reale Feldbedingungen eingeschränkt bleibt. Ein zu artifizieller Trockenstress, der in Töpfen oder Klimakammern simuliert wird, ist häufig nicht auf Feldbedingungen übertragbar, womit die Skalierung fraglich bleibt (Becker und Schmidhalter, 2017, eingereicht). Hierfür ist in Zukunft eine viel intensivere Wechselwirkung molekularbiologischer und agronomischer Forschung erforderlich. Zudem müssen regional spezifische Anpassungsmechanismen (GxE) erarbeitet werden, da universale

Trockenstressszenarien nicht existieren.

Die Bedeutung der Feldbedingungen wird durch jüngst ermittelte Zusammenhänge zwischen der Ertragsleistung von Weizen und Mais in Bayern und dem Angebot an verfügbarem Wasser aus dem Boden unterstrichen. Basierend auf regional hochaufgelösten Bodeninformationen konnten bis zu 60-70% der langjährigen (30 Jahre) Ertragsleistung auf Bezirksebene durch den Einfluss der nutzbaren Feldkapazität erklärt werden. Daraus ergibt sich sehr deutlich die verstärkte Notwendigkeit des Einbezugs dieses Faktors in die Prognose und Projektion der Auswirkungen künftiger Klimaänderungen.

Das Pflanzenwachstum auf Standorten mit reduziertem Angebot an nutzbarem Wasser wird viel stärker durch den Klimawandel beeinträchtigt werden. Auf ertragsreichen Standorten ist in Bayern von keiner wesentlichen Limitierung des Wassers auszugehen, kritisch zu betrachten ist jedoch die durch hohe Temperaturen beschleunigte Kornfüllung, die sich in allen Gebieten negativ auf kleinkörnige Getreidearten auswirken wird.

Auf schlechteren Böden werden agronomische Anpassungsstrategien an den Klimawandel zwingend notwendig werden, während auf besseren Böden durch gezielte Verbesserung der Hitze- und Trockenstresstoleranz Optimierungen erreicht werden können. Grundlagen dafür werden in laufenden Projekten erarbeitet.

Literatur

- Akiyama H, Yan XY, Yagi K (2010) Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16, 1837-1846.
- Barmeier G, Hofer K, Schmidhalter U (2017) Mid-season prediction of grain yield and protein content of spring barley cultivars using high-throughput spectral sensing. *European Journal of Agronomy* 90, 108-116.
- Becker E, Schmidhalter U (2017) Evaluation of yield and drought using active and passive spectral sensing systems at the reproductive stage in wheat. *Frontiers in Plant Science*. 8. 10.3389/fpls.2017.00379.
- Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2006) Calculations of Emissions from German Agriculture - National Emission Inventory Report (NIR) 2006 for 2004. *Methods and Data (GAS-EM)*. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 291*, 47-222.
- Erdle K, Mistele B, Schmidhalter U (2011) Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research* 124, 74-84.
- Erdle K, Mistele B, Schmidhalter U (2013) Spectral high-throughput assessments of phenotypic differences in biomass and nitrogen partitioning during grain filling of wheat under high yielding Western European conditions. *Field Crops Research* 141, 16-26.
- Elsayed S, Rischbeck P, Schmidhalter U (2015) Comparing the performance of active and passive reflectance sensors to assess the normalized relative canopy temperature and grain yield of drought-stressed barley cultivars. *Field Crops Research* 177, 148-160.
- Geesing D, Diacono M, Schmidhalter U (2014) Site-specific effects of variable water supply and nitrogen fertilisation on winter wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 117, 509-523.
- Gnädinger F, Schmidhalter U (2017) Digital counts of maize plants by unmanned aerial vehicles (UAVs). *Remote Sensing*. 9. 6. 544. 10.3390/rs9060544.
- Gutser R, Ebertseder T, Weber A, Schraml M, Schmidhalter U (2005) Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 439-446.

Li F, Mistele B, Hu Y, Chen X, Schmidhalter U (2013) Comparing hyperspectral index optimization algorithms to estimate aerial N uptake using multi-temporal winter wheat datasets from contrasting climatic and geographic zones in China and Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 180, 44-57.

Linzmeier W, Gutser R, Schmidhalter U (2001) Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biology and Fertility of Soils* 34, 103-108.

Rischbeck P, Elsayed S, Mistele B, Bartheimer G, Heil K, Schmidhalter U (2016) Data fusion of spectral, thermal and canopy height parameters for improved yield prediction of drought stressed spring barley. *European Journal of Agronomy* 78, 44–59. doi:10.1016/j.eja.2016.04.013.

Schmidhalter U (2006) Green WindowsTUM.

[http://www.nitrogenmanagement.org/index.php?id=37&tx_ttnews\[tt_news\]=23&tx_ttnews\[backPid\]=34](http://www.nitrogenmanagement.org/index.php?id=37&tx_ttnews[tt_news]=23&tx_ttnews[backPid]=34).
Zugegriffen 15.08.2017.

Schmidhalter U (2011) N-Düngung – Präzisionsdüngung und Gießkannenprinzip. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 23, 1-6.

Schmidhalter U (2015) Sensorgestützte Ermittlung des Nährstoffbedarfs. *VDLUFA-Schriftenreihe* 70, 57-66.

Schmidhalter U, Manhart R, Heil K, Schraml M, v. Tucher S (2011) Gülle- und Gärrestdüngung zu Mais. *Mais* 2, 88-91.

UBA - Umweltbundesamt (2014) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012. *Climate Change* 24/2014. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention>. Zugegriffen 15.08.2017.

Winterhalter L, Mistele B, Jampatong S, Schmidhalter U (2011) High throughput phenotyping of canopy water mass and canopy temperature in well-watered and drought stressed tropical maize hybrids in the vegetative stage. *European Journal of Agronomy* 35, 22–32.

Yue XL, Hu Y, Zhang H, Schmidhalter U (2015) Green Window approach for improving nitrogen management by farmers in small-scale wheat fields. *Journal of Agricultural Science* 153, 446-454.



Eva Bauer

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Technische Universität München
Liesel-Beckmann-Str. 2, 85354 Freising

Anpassung von Nutzpflanzen an den Klimawandel –

Einsatz moderner Züchtungsmethoden

Einleitung

Der Klimawandel beeinflusst langfristig abiotische und biotische Stressfaktoren, daher müssen Nutzpflanzen entwickelt werden, die an die veränderten Bedingungen angepasst sind. Die Auswirkungen des Klimawandels haben einen wesentlichen Einfluss auf wichtige Eigenschaften wie z.B. die Reproduktionseffizienz und die Erzeugung von Biomasse und können daher zu Ertragsschwankungen und Ertragsausfällen bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen führen. Die Pflanzenzüchtung nutzt bereits vorhandene oder durch Züchtung geschaffene Variation und selektiert optimal angepasste Genotypen. Dabei setzt die moderne Züchtung neben der phänotypischen Selektion zusätzlich ein breites Spektrum an biotechnologischen und molekularbiologischen Methoden ein, kombiniert mit neuen biostatistischen Verfahren, um Zuchtprogramme zu optimieren und den Zuchtfortschritt zu beschleunigen. Genombasierte Züchtungsmethoden und neue Erkenntnisse zu molekularen Mechanismen, die Merkmale wie Stresstoleranz und Ertrag beeinflussen, leisten dabei einen wesentlichen Beitrag zur effizienten Züchtung klimaangepasster Nutzpflanzen.

Werkzeuge der Pflanzenzüchtung

In klassischen Zuchtprogrammen steht am Anfang die Erzeugung von genetischer Variation. Aus tausenden von Nachkommen wird im mehrjährigen Zuchtprozess auf wenige Elitelinien selektiert. Dabei nimmt die Anzahl der Prüfglieder über die Jahre ab, die Prüfintensität nimmt aber zu. Optimierte Zuchtprogramme zielen ab auf die Maximierung des Selektionsgewinns pro Zeiteinheit durch möglichst effiziente und schnelle Selektion, wobei darauf geachtet wird, dass die genetische Variation erhalten wird. Zur Beschleunigung des Zuchtfortschritts werden neue Technologien wie die Hochdurchsatz-Genotypisierung und –Phänotypisierung eingesetzt. Die Assoziation zwischen DNA-Varianten und phänotypischen Merkmalen kann für die indirekte Selektion genutzt werden. DNA-basierte molekulare Marker werden daher seit vielen Jahren routinemäßig für die Selektion von monogen vererbten Eigenschaften wie zum Beispiel Krankheitsresistenzen oder Qualitätseigenschaften genutzt (Miedaner und Korzun 2012).

Für komplex vererbte Merkmale wie Ertrag oder Toleranz gegenüber abiotischem Stress ist es deutlich schwieriger, individuelle DNA-Marker für die Selektion zu identifizieren, da viele Gene an der Ausprägung dieser Merkmale beteiligt sind und die Effekte der einzelnen Gene meist klein sind. Durch

Zerlegung der Merkmale in einzelne Komponenten wird versucht die Komplexität zu reduzieren. So spielen bei der Toleranz gegenüber Trockenstress z.B. die Transpirationseffizienz, die Wasseraufnahme- und Wassernutzungseffizienz, die Pflanzenmorphologie und Phänologie eine Rolle. Die präzise Erfassung der einzelnen Komponenten ermöglicht in vielen Fällen auch die Aufklärung molekularer Mechanismen, die an der Merkmalsausprägung beteiligt sind (Kissoudis et al. 2014). Spielten hier zunächst vor allem Modellpflanzen wie Arabidopsis eine wichtige Rolle, so ermöglichten *Next Generation Sequencing* Techniken mittlerweile auch die Genomsequenzen vieler wichtiger Kulturarten wie Mais, Weizen, Gerste, Roggen oder Sojabohne zu entziffern (Bauer et al. 2017, IWGSC 2014, Jiao et al. 2017, Mascher et al. 2017, Schmutz et al. 2010). Damit ist es möglich, direkt in den Kulturpflanzen Genomregionen oder einzelne Gene zu identifizieren, die an der Ausprägung der Merkmale beteiligt sind und deren allelische Variation für die Züchtung angepasster Sorten genutzt werden kann (Jackson et al. 2011).

Die Vielzahl an DNA-Markern in allen wichtigen Fruchtarten (Rasheed et al. 2017) eröffnet zudem neue Perspektiven für genomweite Selektionsansätze, die vor allem bei komplex vererbten Merkmalen Vorteile bieten. Bei der genomischen Selektion wird zunächst eine Referenzpopulation intensiv phänotypisch als auch genotypisch charakterisiert. Auf dieser Datenbasis werden statistische Vorhersagemodelle für den genetischen Wert einzelner Individuen erstellt und diese Modelle wiederum genutzt, um die Leistung von Selektionskandidaten vorherzusagen, von denen nur genotypische Daten vorliegen (Albrecht et al. 2011). Dies ermöglicht die Selektion in frühen Entwicklungsstadien der Pflanzen und ohne Prüfung im Feld. Somit können Selektionszyklen verkürzt und der Zuchtfortschritt beschleunigt werden (Xu et al. 2017).

Der Einsatz dieser modernen Werkzeuge der Pflanzenzüchtung und Genomforschung wird anhand aktueller Forschungsprojekte zu Klimawandel-relevanten Merkmalen wie Trockentoleranz, Kältetoleranz und Krankheitsresistenz im Vortrag näher erläutert. Zahlreiche Beispiele hierfür finden sich in aktuellen Forschungsverbänden, an denen die TUM beteiligt ist, wie z.B. „BayKlimaFit“ (<http://www.bayklimafit.de/>), SFB924 „Molecular mechanisms regulating yield and yield stability in plants“ (<http://sfb924.wzw.tum.de>) oder „MAZE - Accessing the genomic and functional diversity of maize to improve quantitative traits“ (<http://www.europeanmaize.net/>).

Fazit

Die Pflanzenzüchtung ist ein wichtiger Innovationsfaktor für zukünftige agrarische Produktionssteigerungen, gerade auch im Hinblick auf den Klimawandel (Kissoudis et al. 2016). Die Integration verschiedener biologischer Disziplinen von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung, die Weiterentwicklung von Technologien für Genotypisierung, Phänotypisierung und bioinformatische Analyse der Daten sowie effiziente Strategien zur Nutzung genetischer Ressourcen werden eine entscheidende Rolle spielen bei der Züchtung ressourcenschonender und klimaangepasster Nutzpflanzen.

Literatur

Albrecht T, Wimmer V, Auinger HJ, Erbe M, Knaak C, Ouzunova M, Simianer H, Schön C-C (2011) Genome-based prediction of testcross values in maize. *Theor Appl Genet* 123:339-350

Bauer E, Schmutzer T, Barilar I, Mascher M, Gundlach H, Martis MM, Twardziok SO, Hackauf B, Gordillo A, Wilde P, Schmidt M, Korzun V, Mayer KFX, Schmid K, Schön C-C, Scholz U (2017) Towards a whole-genome sequence for rye (*Secale cereale* L.) *Plant J* 89:853-869

International Wheat Genome Sequencing Consortium (IWGSC) (2014) A chromosome-based draft sequence of the hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*) genome. *Science* 345:1251-1288

Jackson SA, Iwata A, Lee S-H, Schmutz J, Shoemaker R (2011) Sequencing crop genomes: approaches and applications. *New Phytol* 191:915-925

Jiao Y, Peluso P, Shi J, Liang T, Stitzer MC, (...), McMullen M, Ross-Ibarra J, Dawe RK, Hastie A, Rank DR, Ware D

(2017) Improved maize reference genome with single-molecule technologies. *Nature* 546:524–527

Kissoudis C, van de Wiel C, Visser RGF, Van Der Linden G (2014) Enhancing crop resilience to combined abiotic and biotic stress through the dissection of physiological and molecular crosstalk. *Frontiers in Plant Science* 5:207

Kissoudis C, van de Wiel C, Visser RGF, van der Linden G (2016) Future-proof crops: challenges and strategies for climate resilience improvement. *Curr Opin Plant Biol* 30:47-56

Mascher M, Gundlach H, Himmelbach A, Beier S, Twardziok SO, Wicker T, (...), Spannagl M, Li C, Waugh R, Stein N (2017) A chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome. *Nature* 544:427-433

Miedaner T, Korzun V (2012) Marker-assisted selection for disease resistance in wheat and barley breeding. *Phytopathology* 102:560-566

Rasheed A, Hao Y, Xia X, Khan A, Xu Y, Varshney RK, He Z (2017) Crop breeding chips and genotyping platforms: progress, challenges, and perspectives. *Molecular Plant* 10:1047-1064

Schmutz J, Cannon SB, Schlueter J, Ma J, Mitros T, (...), Rokhsar D, Stacey G, Shoemaker RC, Jackson SA (2010) Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature* 463:178-183

Xu Y, Li P, Zou C, Lu Y, Xie C, Zhang X, Prasanna BM, Olsen MS (2017) Enhancing genetic gain in the era of molecular breeding. *J Exp Bot* 68:2641-2666



Daniel Bretscher

Agroscope / Klima, Lufthygiene

Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich / Schweiz

Tel.: ++41 58 468 75 20

daniel.bretscher@agroscope.admin.ch

Treibhausgasemissionen aus der Nutztierhaltung:

Wie stark belasten unsere Kühe das Klima?

Einleitung

Die Land- und Ernährungswirtschaft ist eine bedeutende Verursacherin von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), sowohl weltweit als auch in der Schweiz. Gemäß dem schweizerischen THG-Inventar betrug der Anteil des Landwirtschaftssektors an den Gesamtemissionen der Schweiz 2015 12,7%. Durch eine breitere Definition des Landwirtschaftssektors wird dessen Anteil an den anthropogenen THG-Emissionen global jedoch auf bis zu 30% beziffert (Bellarby et al., 2008). THG-Emissionen entstehen entlang der Produktionskette bei der Herstellung von Produktionsmitteln (z.B. Dünger, Futtermittel), durch die Verbrennung von fossilen Treib- und Brennstoffen in landwirtschaftlichen Maschinen und Gebäuden, sowie insbesondere durch biochemische Prozesse bei der Tier- und Pflanzenproduktion. Durch Effizienzsteigerungen und durch eine Anpassung der Intensität kann und soll die Landwirtschaft einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Für die Identifizierung von Emissions-Hotspots sowie für die Festlegung und Kontrolle von Minderungsmaßnahmen und Zielen sind Emissionsinventare notwendig.

Material und Methoden

Die THG-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion in der Schweiz werden von Agroscope jährlich geschätzt und als Zeitreihe – zurückreichend bis 1990 – im nationalen THG-Inventar ausgewiesen. Die Berechnungen erfolgen nach internationalen Vorgaben mit Hilfe der Rahmenmethoden des Weltklimarats (IPCC, 2006), welche jedoch in vielen Bereichen den spezifischen Gegebenheiten der Schweizer Landwirtschaft angepasst worden sind. Die CH₄-Emissionen aus der Verdauung der Nutztiere und der Hofdüngerlagerung werden anhand von Energiebilanzen der Tiere und Hofdüngerlagerbedingungen berechnet. Dabei wird insbesondere bei den Milchkühen die Schweiz-typische Fütterungspraxis berücksichtigt. N₂O-Emissionen aus den Hofdüngerlagersystemen und aus den landwirtschaftlichen Böden werden aufgrund eines Stickstoffflussmodells berechnet. Auf ca. 3000 Schweizer Betrieben werden zu diesem Zweck periodisch Daten über die Produktionstechnik erhoben. CO₂-Emissionen aus der Kalk- und Harnstoffdüngung werden aufgrund der IPCC-Standardmethode abgeschätzt. Für weitere Details der Berechnungsmethoden wird an dieser Stelle auf den schweizerischen THG-Inventarbericht verwiesen (FOEN, 2017).

Um ein Gesamtbild der landwirtschaftlichen THG-Emissionen zu erstellen, werden weitere Emissionen, die nicht im Landwirtschaftssektor des nationalen Inventars ausgewiesen werden, berücksichtigt. Dazu gehören die energetischen Emissionen (landwirtschaftliche Fahrzeuge und Maschinen, Gewächshäuser, Stallheizungen etc.), CO₂-Quellen und –Senken der landwirtschaftlichen Böden

(LULUC) sowie Vorläuferemissionen die bei der Herstellung von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln anfallen (Dünger, Futtermittel, Pflanzenschutzmittel). Die entsprechenden THG-Flüsse werden entweder direkt dem schweizerischen THG-Inventar entnommen (Energie, LULUC) oder gemäß Bretscher et al. (2014) abgeschätzt (Energie, Vorläuferemissionen).

Zur Ermittlung der Bedeutung der Tierhaltung wurden die oben aufgeführten THG-Emissionen jeweils den Bereichen „Tierhaltung“ und „Pflanzenbau“ zugewiesen. Emissionen aus der Verdauung der Nutztiere und aus der Hofdüngerlagerung können vollumfänglich der Tierhaltung zugeschrieben werden und lassen sich direkt den einzelnen Tierkategorien zuordnen. Die Aufteilung der N₂O-Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden und aller übrigen Emissionen ist meist wesentlich weniger eindeutig und wurde aufgrund einer vereinfachenden Zuordnung gemäß Bretscher und Amman (2017) vorgenommen. Emissionen aus dem Futterbau werden dabei der Tierhaltung angelastet.

Ergebnisse und Diskussion

Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft nach Emissionskategorien

2015 wurden von der schweizerischen Landwirtschaft insgesamt 8,2 Mio. t CO₂-Äquivalent verursacht (Abbildung 1). Dieses Total setzte sich zusammen aus den CH₄-Emissionen aus der Verdauung der Nutztiere (41%), den CH₄- und N₂O-Emissionen aus der Hofdüngerlagerung (14%) und den N₂O-Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden (19%). Nur punktuell von Bedeutung waren die CO₂-Emissionen aus der Kalk-

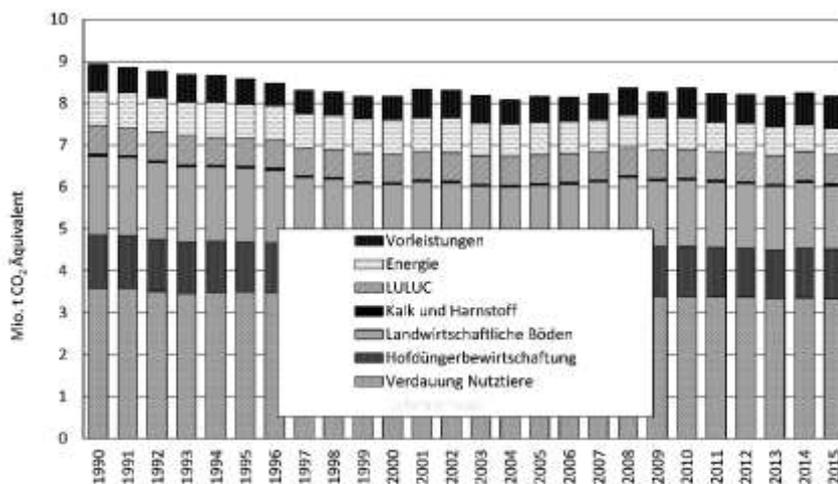


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen der Schweizer Landwirtschaft 1990-2015.

und Harnstoffdüngung. Die Beiträge der CO₂-Quellen und -Senken in den landwirtschaftlichen Böden (LULUC) und der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Treib- und Brennstoffen (Energie) beliefen sich jeweils auf ungefähr 8%. Weiter entstanden bei der größtenteils im Ausland stattfindenden Herstellung von Produktionsmitteln 0,8 Mio. t CO₂-Äquivalent (Vorleistungen; 9%). Seit 1990 sind die Emissionen trotz leicht ansteigender Produktion um 8.5% zurückgegangen, hauptsächlich durch eine effizientere Tierproduktion (Milchleistungssteigerung) und eine verbesserte Düngeeffizienz. Die größten Veränderungen fanden anfangs der 90'er Jahre während der Einführung des ökologischen Leistungsnachweises statt.

Bedeutung der Tierhaltung und Konsequenzen für Emissionsminderungsstrategien

Insgesamt führt die gewählte Zuordnung der Emissionen zu einer Aufteilung der THG-Emissionen von 80:20 % auf die Tierhaltung und den Pflanzenbau (Abbildung 2). Der hohe Anteil der Emissionen der unmittelbar dem Rindvieh (59%) respektive den Wiederkäuern im allgemeinen (63%) zugeordnet werden kann unterstreicht die Bedeutung dieser Tierkategorien.

Die Bedeutung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen im Allgemeinen und der Tierhaltung im Speziellen zeigt sich nicht nur in den nationalen Inventaren, welche die Produktionsperspektive abbilden, sondern auch aus der Konsumperspektive. Bretscher et al. (2014) schätzen die Emissionen der Land- und Ernährungswirtschaft aus der Konsumperspektive für das Jahr 2010 auf 16,3 Mio. t CO₂-Äquivalent. Davon entfallen über 80% auf tierische Produkte und fast 50% alleine auf Rindfleisch und

Milchprodukte.

Trotz der erwähnten Unschärfe bei der Berechnung und vor allem bei der sektoriellen Zuteilung der Emissionen wird die große Bedeutung der Tierhaltung für die THG-Emissionen in zahlreichen Studien hervorgehoben (Leip et al., 2010; Sakadevan and Nguyen, 2017; Steinfeld et al., 2006). Auch die herausragende Rolle der Wiederkäuer wurde bereits verschiedentlich thematisiert (z.B. Moss et al. 2000; Ripple et al. 2014). Aufgrund der hohen THG-Emissionen wird folglich dem Tierhaltungssektor im Allgemeinen und den Wiederkäuern im Speziellen eine entsprechende Verantwortung bei der Emissionsminderung zugeschrieben. Das technische Reduktionspotential wird allerdings als limitiert angesehen (z.B. 15-19%; Leip et al., 2010) und ist häufig durch ökonomische und/oder politische

Rahmenbedingungen zusätzlich begrenzt (z.B. Herrero et al., 2016). Die den Emissionen zugrunde liegenden biochemischen Prozesse beeinflussen sich häufig gegenseitig und sind nur schwierig beeinflussbar. Zudem muss beachtet werden, dass die Emissionen nicht nur entlang der Prozesskette verlagert werden sondern tatsächlich reduziert werden. Schließlich gilt es zu verhindern, dass es bei Minderungsmaßnahmen zu unerwünschten Nebenwirkungen kommt („Pollution Swapping“, Produktionseinbußen). Diverse Studien wie zum Beispiel von Bryngelsson et al. (2016) oder Hedenus et al. (2014) kommen daher zum Schluss, dass technische Maßnahmen sehr beschränkt sind und in der Regel alleine nicht genügen, um die gesetzten Reduktionsziele zu erreichen. Es wird darauf hingewiesen, dass zusätzliche Anstrengungen durch Umstellung der Ernährungsgewohnheiten hin zu vermehrt vegetarischen Produkten notwendig sind.

Auch die Klimastrategie der Landwirtschaft der Schweiz sieht Handlungsbedarf sowohl auf der technischen, betrieblichen und organisatorischen Ebene als auch auf der Verbraucherseite (BLW, 2011). Mit der Umlagerung der tierbezogenen Direktzahlungsbeiträge auf die Fläche soll mit der Agrarpolitik AP14-17 ein Signal hin zu einer weniger tierintensiven Landwirtschaft gegeben werden. Die entsprechenden Prognosen der Entwicklung der Agrarstrukturen rechnen demzufolge mit einem Rückgang der Tierpopulation. Mit der bisherigen Minderungsrate kann das Ziel der Klimastrategie Landwirtschaft, die THG-Emissionen bis 2050 um mindestens einen Drittel gegenüber 1990 zu senken, jedoch trotzdem nicht erreicht werden. Weitere Anstrengungen sind notwendig. Die hier gezeigten Resultate legen nahe, dass diese vor allem in der Tierhaltung und insbesondere bei den Wiederkäuern zu verorten sind und dass dabei ein Wandel hin zu einer weniger THG-intensiven Ernährung unerlässlich ist.

Literatur

Bellarby J., Foereid B., Hastings A. and Smith P. (2008) Cool Farming: Climate impact of agriculture and mitigation potential. Greenpeace, Amsterdam, The Netherlands.

Bretscher D., Leuthold-Stärfl S., Felder D. und Fuhrer J. (2014) Treibhausgasemissionen aus der schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft. Agrarforschung Schweiz 5 (11+12), 458-465.

Bretscher, D., Amman, Ch. (2017) Treibhausgasemissionen aus der schweizerischen Nutztierhaltung; wie stark

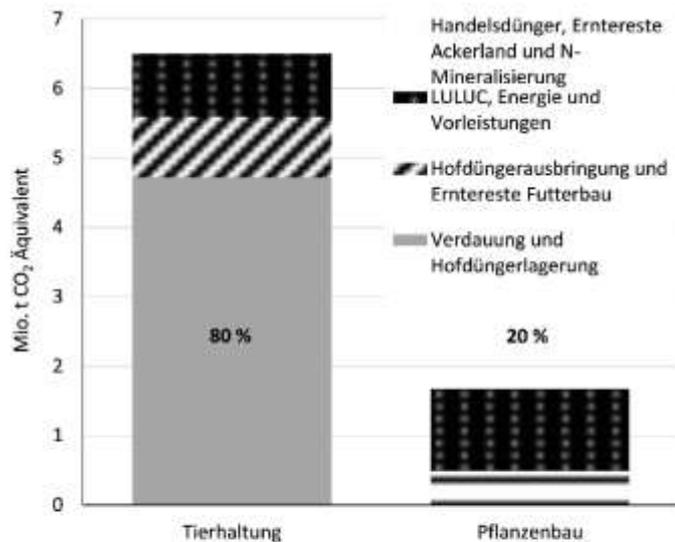


Abbildung 2: Aufteilung der Treibhausgasemissionen der Schweizer Landwirtschaft 2015 auf die Tierhaltung und den Pflanzenbau.

Herausforderung Klimawandel

belasten unsere Kühe das Klima? ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung, Band 40 (M. Kreuzer, T. Lanzini, A. Liesegang, R. Bruckmaier, H.D. Hess, S.E. Ulbrich).

Bryngelsson D., Wirsenius S., Hedenus F. and Sonesson U. (2016) How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture. *Food Policy* 59, 152-164.

Bundesamt für Landwirtschaft (2011) Klimastrategie Landwirtschaft: Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern, Schweiz.

FOEN (2017) Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2015: National Inventory Report, CRF-tables. Submission of 11 April 2017 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Switzerland.

Hedenus F., Wirsenius S. and Johansson D.A.J. (2014) The importance of reduced meat and dairy consumption for meeting stringent climate change targets. *Climatic Change* 124 (1), 79-91.

Herrero M., Henderson B., Havlik P., Thornton P.K., Conant R.T., Smith P., Wirsenius S., Hristov A.N., Gerber P., Gill M., Butterbach-Bahl K., Valin H., Garnett T. and Stehfest E. (2016) Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6 (5), 452-461.

IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara T. and Tanabe, K. (eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.

Leip A., Weiss F., Wassenaar T., Perez I., Fellmann T., Loudjani Ph., Tubiello F., Grandgirard D., Monni S. and Biala K. (2010) Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS) - final report. European Commission, Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy.

Moss A.R., Jouany J.-P. and Newbold J. (2000) Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49 (3), 231-253.

Ripple W.J., Smith P., Haberl H., Montzka S.A., McAlpine C. and Boucher D.H. (2014) Ruminants, climate change and climate policy. *Nature Climate Change* 4 (1), 2-5.

Sakadevan K. and Nguyen M.L. (2017) Chapter Four - Livestock production and its impact on nutrient pollution and greenhouse gas emissions. *Advances in Agronomy* 141, 147-184.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M. and de Haan C. (2006) Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.



Prof. Dr. Hermann Lotze-Campen

Chair of Climate Impacts and Vulnerabilities

Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)

Professor of Sustainable Land Use and Climate Change

Humboldt-Universität zu Berlin

Website: <https://www.pik-potsdam.de/members/hlotze/>

Contact: lotze-campen@pik-potsdam.de

Economic effects of climate change and emission mitigation on agriculture

Climate change will impact all human societies, and especially the poor. As acknowledged by the G20 agriculture ministers' declaration (https://www.g20.org/Content/EN/Artikel/2017/01_en/2017-01-23-g20-agrarminister-treffen_en.html?nn=2068804) in January 2017, the agricultural sector is crucial for food security, climate change adaptation, reducing greenhouse gas emissions, managing water scarcity and human migration, and achieving peace and stability. Agricultural trade will play an important role.

If carbon emissions from burning fossil fuels continue unabated and global warming intensifies, agricultural production in many parts of the world will be hurt. In a changing climate, extreme weather patterns will become more frequent, including more droughts and floods and, hence, harvest failures. World market prices for wheat, maize and rice are likely to rise, and food security in poor countries may deteriorate.

But free trade could help, to some extent. While trade liberalization in the context of the TTIP and CETA negotiations has come under fire from different corners, open agricultural markets may help to adapt to changing global production conditions in a changing climate. Of course, free trade cannot solve the problem of rising greenhouse gas emissions. But it can certainly be an important instrument in a comprehensive climate policy. Even if global warming can be limited to 2 degrees above pre-industrial levels, poor regions still need support for adaptation. An open trading system can help to balance staple food supply and demand between surplus and deficit regions.

Free trade could reduce climate-related economic losses in agriculture by half

Recent research (<http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1501452>) has shown that economic losses from climate impacts on agriculture may add up to 2.5 trillion US dollars (or 0.8% of Gross World Product) per year in the second half of the century, if international trade remains restricted. If, on the other hand, agricultural trade would be further liberalized, the expected losses could be less than half of this amount (about 0.3% of GWP). Open trade would reduce agricultural prices, particularly benefiting poor consumers who spend a high income share on food (see Figure).

These effects can be shown with computer simulation models on agricultural production, land use and trade. With open international markets, countries can specialize on those products for which they have the best endowments and can exploit their comparative advantages. This will become all the more important, as production conditions for many agricultural crops will shift across national borders in a changing climate.

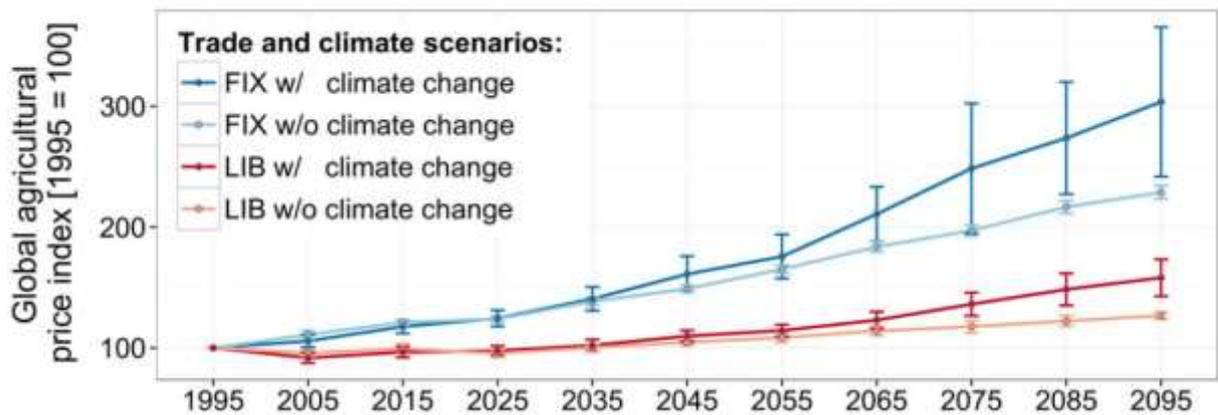


Figure: Global agricultural price index (for all commodities; SRES A2 scenario; without CO₂ fertilization effect). Mean value across climate model (GCM) scenarios with the 1 standard deviation bars for liberalized (LIB) and fixed (FIX) trade scenarios, with and without climate change effect (Source: Stevanovic et al. 2016, <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1501452>).

Agricultural trade helps to save precious water resources

Water use is a good example. Agriculture accounts for 70% of global freshwater use. Water is becoming increasingly scarce in many regions, as too much is used for irrigation, while temperatures as well as water availability are changing. Even if water is abundant in parts of the year, often it cannot be stored to be used in the main growing season. Adaptation to water scarcity in agriculture can be achieved through breeding of drought-resistant crop varieties or more efficient irrigation systems. There are many technological options. However, also international agricultural trade helps to save water worth more than 2 billion US dollars

(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.003>) in a typical year. Trade in food is always trade in water – the "virtual" water which is transpired by crops for primary production.

Virtual water use differs widely across regions. In Morocco, a kilogram of grain needs about 2700 liters to produce, while in Germany only 520 liters are required. Open trade helps to allocate water-intensive crop production to water-abundant regions. These products can then be exchanged with other commodities or, in the future, with solar energy from hot and dry regions. Thus, overall water use in agriculture will be lower than in a situation where all countries try to achieve high self-sufficiency in many food products. We should not discard this option for reducing the social impacts of climate change.

Open trade increases the flexibility of the global agricultural system

Changes in dietary habits also play an important role, as lower meat consumption would help to reduce various environmental impacts of agriculture. A vegetarian diet would lead to lower water use, reduce emissions of methane and nitrous oxide, and mitigate nitrate pollution in groundwater (<http://www.nature.com/articles/ncomms4858>). International trade can help to shift production to those regions where emissions are lowest due to environmental conditions. The whole agricultural system will become more flexible. This will become ever more important in the future, as more people will need more food, while environmental and resource constraints need to be met.

Globalization has to be guided by an appropriate international policy framework

Further liberalization of agricultural markets has to be embedded in a suitable policy framework. In dry regions, agricultural water use has to be effectively regulated. This can best be done with locally adapted pricing schemes, which take basic needs of the poor population explicitly into account. Otherwise, agricultural exports could also worsen local water problems. This can be observed in the

US and Spain, where non-renewable groundwater resources are over-used for high-value fruit and vegetable production. Moreover, developing countries should not be forced to open up their markets unilaterally. Rich regions like Europe and the US also have to further liberalize agricultural trade and reduce price-distorting subsidies. Regarding free trade, it is not about "if", but about "how". For managing climate change impacts we cannot rely on one instrument alone, instead we have to use the whole tool box.

Germany faces an opportunity while chairing the G20 club of economic powers. Together, these countries could strengthen the links between climate policy, agricultural policy, and trade policy. This would be a signal against the current trend of putting up new trade barriers and border protection. Together, we should reap the benefits of a managed globalization, based on international division of labor and improved resource efficiency.

Related policy briefs by

T20 Task Force "Towards Ending Hunger and Sustainable Agriculture":

[\(http://www.g20-insights.org/policy_area/toward-ending-hunger-and-sustainable-agriculture/\)](http://www.g20-insights.org/policy_area/toward-ending-hunger-and-sustainable-agriculture/)

Key Policy Actions for Sustainable Land and Water Use to Serve People:

[\(http://www.g20-insights.org/policy_briefs/key-policy-actions-sustainable-land-water-use-serve-people/\)](http://www.g20-insights.org/policy_briefs/key-policy-actions-sustainable-land-water-use-serve-people/)



Anton Steiner

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
Monitoring, Wasserhaushalt und Warndienste
München

Niedrigwasser und Trockenheit:

Auswirkungen und Maßnahmen der Wasserwirtschaft in Bayern

1 Einleitung

Niedrigwasser ist durch einen vorübergehend ungewöhnlich geringen Abfluss oder Wasserstand in Fließgewässern, Seen oder im Grundwasser gekennzeichnet und wird als natürliches Ereignis in erster Linie durch ein meteorologisch bedingtes Niederschlagsdefizit in Trockenphasen verursacht. Wenn das geringe Wasserdargebot überdurchschnittlich lange anhält oder besonders ausgeprägt auftritt, kann dies bedeutende wirtschaftlich und ökologische Schäden zur Folge haben.

2 Klimamonitoring in der Vergangenheit, Klimawandel in der Zukunft

Die zurückliegenden Veränderungen von Temperatur, Niederschlag und Abflussverhalten in Bayern werden u.a. im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA durch die Analyse langer Messzeitreihen ermittelt (1). Die mittlere Jahreslufttemperatur in Bayern hat sich seit 1931 bereits um ca. 1,3 °C erhöht. Bei den Niederschlägen zeigt sich in der Prognose keine ausgeprägte innerjährliche Umverteilung, langfristig kann mit einer Niederschlagsabnahme gerechnet werden. Auch die mittlere Temperatur unserer Fließgewässer hat sich in den vergangenen Jahrzehnten messbar verändert, an etwa 75 % der langjährigen Messstellen wurde ein Anstieg der Wassertemperatur verzeichnet. Aus der Vergangenheit sind für Bayern bereits mehrere Perioden langanhaltender Trockenheit und sehr geringer Abflüsse bekannt. Innerhalb der letzten 40 Jahre waren die Niedrigwasserereignisse 1976, 2003, 2011 sowie 2015 besonders ausgeprägt.

Der Klimawandel wird sich voraussichtlich auf die Verteilung und Menge des Niederschlags auswirken und damit auch den natürlichen Wasserhaushalt, insbesondere in den Abflussexremen, verändern. Es ist damit zu rechnen, dass künftig nicht nur Hochwasser sondern auch Trocken- und Niedrigwasserperioden häufiger und extremer auftreten werden.

Die Abschätzung der Veränderung der Niederschläge ist weniger eindeutig und mit größeren Unsicherheiten behaftet als die Aussagen zur Temperatur. Der Trockenheitsindex, abgeleitet anhand der Bodenfeuchte, wird in Gesamtbayern, mit Ausnahme des Alpenraums, vor allem in den Sommermonaten ansteigen. Dieser Anstieg ist besonders ausgeprägt in Nordbayern, also in Gegenden, die bereits jetzt die höchsten Trockenheitswerte in Bayern aufweisen.

Die jährliche Grundwasserneubildung in Bayern liegt im Zeitraum 1951 bis 2015 bei durchschnittlich 204 mm und findet überwiegend während des Winterhalbjahres statt. In der Vergangenheit wies die jährliche Grundwasserneubildung niedrigere Raten während der trockenen Dekaden 1951 bis 1960 und 1971 bis 1980 sowie in dem verhältnismäßig trockenen und von steigenden Verdunstungsraten geprägten Zeitraum 2003 bis 2015 auf. In der fernen Zukunft verstärken sich die Abnahmen der Grundwasserneubildung weiter, so dass ein Rückgang zwischen 25 mm und 77 mm zu erwarten ist.

3 Auswirkungen

Die Auswirkungen von Niedrigwasserereignissen können vielfältig sein. Zu Beginn einer (sommerlichen) Niedrigwasserphase wird dies in der medialen Öffentlichkeit meist als angenehm wahrgenommen: warmes, trockenes Wetter. Im weiteren Verlauf treten jedoch negative Aspekte zutage. Niedrigwasserereignisse können Gewässerökosysteme und wasserwirtschaftliche Nutzungen in vielfältiger Weise beeinträchtigen. Winterliche Niedrigwasserphasen traten in den vergangenen Jahren häufig auf. Sie wirken sich vor allem auf die Grundwassersituation aus.

Negative Auswirkungen auf die Gewässerökologie bei Niedrigwasser entstehen aus der reduzierten Wasserführung, höheren Temperaturen, Sauerstoffmangel und erhöhten Nähr- und Schadstoffkonzentrationen. Der gute chemische und ökologische Zustand der Gewässer gemäß den Zielen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) kann dadurch gefährdet werden.

Der überwiegende Teil des Trinkwassers in Bayern wird aus Quellen und Brunnen gewonnen, Oberflächenwasser spielt nur eine untergeordnete Rolle. Das sind grundsätzlich günstige Voraussetzungen für die Qualität und Sicherheit der öffentlichen Wasserversorgung. Dennoch kann es während Niedrigwasserperioden lokal zu Engpässen kommen, besonders bei einer reinen Quellwassernutzung, aber auch bei der Versorgung aus Kluft- oder Karstgrundwasserleitern, In Bayern beträgt der Anteil der Wasserkraft an der gesamten Stromerzeugung 15 Prozent. Mögliche Auswirkungen von Niedrigwasserperioden sind hier Einbußen in der Kraftwerksleistung und daraus folgend eine geringere Energieproduktion.

4 Auswirkungen am Beispiel des Niedrigwassers 2015

Der Sommer 2015 war nach 2003 und 1947 der drittwärmste Sommer in Deutschland seit 1881. Am 5. Juli und 7. August wurde im fränkischen Kitzingen mit 40,3°C ein neuer Hitzerekord für Deutschland gemessen. Die Trockenperiode begann bereits früh im Jahr 2015, ab Februar bis Oktober waren in Nordbayern neun Monate in Folge zu trocken. Insgesamt fielen 2015 in Bayern ca. 20 % weniger Niederschlag als im Mittel (1961 bis 1990) (1).

Die hohen Temperaturen in Verbindung mit den geringen Niederschlägen sorgten für sehr trockene Bedingungen in der Landwirtschaft und niedrige Wasserstände in vielen Flüssen. Exemplarisch werden die Auswirkungen des Niedrigwassers 2015 auf einige Nutzungen sowie die Gewässerökologie beschrieben.

4.1 Öffentliche Wasserversorgung

Auf Grund der Trockenheit kam es vereinzelt zu lokalen Engpässen in der Trinkwasserversorgung. Betroffen waren vor allem kleinere Wasserversorgungen in Nord- und Ostbayern, die für die Trinkwasserbereitstellung überwiegend Quellen nutzen, deren Schüttung spürbar zurückging. In den betroffenen Bereichen wurde die Bevölkerung zum Wassersparen aufgefordert. Bei einigen im Bayerischen Wald gelegenen Gemeinden traten wegen geringer Schüttung der Quellen auch noch im November trockenheitsbedingte Versorgungsengpässe auf. Hier musste in einigen Fällen Trinkwasser, auch mittels Tankwagen, von benachbarten Wasserversorgungen zugeführt werden.

4.2 Wasserkraft

Die Stromerzeugung aus Wasserkraft lag im Jahr 2015 unter dem langjährigen Mittelwert. In den trockenen Monaten Juli und August lag die Stromerzeugung deutlich unter den Regelwerten der Vorjahre. So wurden im Juli eine Mindererzeugung von -39 % am Main, -36 % an der Donau, -32 % an der Isar und -54 % am Lech erreicht. Lediglich am Inn waren im Juli keine Stromeinbußen aufgrund geringer Wasserführung festzustellen, dort machte sich die Abflussminderung erst im August bemerkbar. Im weiteren Jahresverlauf blieben die Stromerzeugungsmengen deutlich unter den Mittelwerten.

4.3 Schifffahrt

Im August 2015 stellte in Bayern besonders die frei fließende Donau zwischen Straubing und Vilshofen ein Nadelöhr für die Schifffahrt dar. Güterschiffe konnten dort auch im leeren Zustand nicht mehr fahren, Ladungen mussten auf LKW und Bahn weiter transportiert werden. Auch die Ausflugsschifffahrt war betroffen. Im Bereich von Weltenburg (Donaudurchbruch, Niederbayern) und auch im Abschnitt Straubing-Vilshofen musste die Ausflugsschifffahrt vorübergehend eingestellt werden.

4.4 Landwirtschaft und Fischerei

Während die Landwirtschaft vor allem im nördlichen Bayern über Ertragseinbußen, vor allem bei Weizen, Gemüse Kartoffeln, Zuckerrüben und Mais, klagte, konnten sich die fränkischen Winzer über einen „großen Wein“ freuen. Dank intensiver Pflege im Sommer 2015, u.a. durch Bewässerung, konnten sie eine gute Ernte einfahren (3, 4). Es gab aber auch Übernutzungen der Ressource Wasser, insbes. des Grundwassers. Zum Teil kam es auch zu einer Konkurrenzsituation innerhalb der Landwirtschaft. Probleme gab es teilweise bei Fischteichen, die aus nach und nach trocken fallenden Bächen nicht mehr ausreichend gespeist wurden.

4.5 Waldwirtschaft

Der trockene und warme Sommer 2015 bremste nicht nur das Wachstum der Bäume, sondern machten die geschwächte Vegetation auch anfälliger für Schädlingsbefall. Der Borkenkäfer konnte drei Generationen ausbilden und befällt seit dem Frühjahr 2016 die Bäume. Auch andere Schädlinge konnten sich ausbreiten (5). Die Waldbrandgefahr stieg erheblich.

5 Strategien zum Umgang mit Niedrigwasser

Bedingt durch die Zunahme von Klimarisiken steigt auch der Handlungsbedarf der Wasserwirtschaft im Umgang mit Niedrigwasser. Ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement umfasst sowohl Vorsorgemaßnahmen als auch operative Maßnahmen. Die Konzepte und Maßnahmen der Niedrigwasservorsorge sollen die Entstehung und die Wirkungen von Niedrigwasser im Vorfeld und langfristig minimieren. Das operative Niedrigwassermanagement zielt auf kurzfristig wirkende Maßnahmen in akuten Niedrigwassersituationen ab.

5.1 Information

Niedrigwassermanagement benötigt eine umfassende Informationsbasis. Das beginnt mit Monitoringdaten und reicht über Informations- und Warndienste zur Einschätzung der aktuellen Lage bis hin zu Vorhersagen der weiteren Entwicklung. Um Niedrigwassersituationen zeitnah zu erkennen und zu bewerten, wurde in Bayern 2008 der Niedrigwasser-Informationsdienst (NID) eingerichtet. Die dort angebotenen Messdaten und Lageberichte sind Grundlagen für frühzeitige Reaktionen in der Wasserwirtschaft. Auch die Öffentlichkeit kann sich im Internetportal des NID über die aktuelle Situation und die weitere Entwicklung informieren. Der „Alarmplan für den bayerischen, staugeregelten Main – Gewässerökologie“ (AMÖ) ist ein operativer Informationsdienst, der auf

regionaler Ebene eingerichtet wurde, um in Niedrigwassersituationen kurzfristig zu warnen und schädliche Folgen für die Gewässerökologie zu verhindern (6). Für die Donau in Bayern ist derzeit ein analoger Gewässerqualitätswarndienst im Aufbau begriffen.

5.2 Maßnahmen

Von den 25 staatlichen Wasserspeichern haben 15 als Haupt- oder Nebenzweck die Funktion der Niedrigwasseraufhöhung. In Trockenperioden wird auf diese Weise der Niedrigwasserabfluss von Bächen und Flüssen erhöht bzw. stabilisiert.

Seit 1994 wird in abflussschwachen Zeiten über das Überleitungssystem Donau-Main Wasser aus dem Donaoraum für die Regnitz und den Main bereitgestellt. Seit Inbetriebnahme der Überleitung in 1993 pumpte das System über 3 Milliarden Kubikmeter Wasser in den Norden des Freistaates, das entspricht etwa dem Volumen des Starnberger Sees. Vor allem die Flüsse Rednitz, Regnitz und Main werden dank der Überleitung in Trockenzeiten aufgefüllt.

Kraftwerke und Industriebetriebe nutzen Gewässer für Kühlzwecke. Das erwärmte Kühlwasser wird teilweise oder vollständig in die Gewässer zurückgeleitet. Zur Vermeidung einer zusätzlichen Temperaturerhöhung der Gewässer während Niedrigwasserperioden kann es zu Einschränkungen für Wärmeeinleitungen kommen.

Um auch bei Niedrigwasserverhältnissen eine gute Wasserqualität zu gewährleisten, werden in Bayern bei der Ermittlung und Genehmigung von Abwassereinleitungen bereits ungünstige Abflussverhältnisse berücksichtigt. Eine Verschärfung von zukünftigen Niedrigwassersituationen kann hierbei jedoch weitere Anpassungen erforderlich machen.

Der Betrieb eines Gewässerqualitätswarndienstes, der in kritischen Situationen bei Niedrigwasser kurzfristig Warnungen verbreitet, ermöglicht schnelle Reaktionen, um schädliche Folgen für die Gewässerökologie zu verhindern. Im Warn- oder Alarmfall werden dann unterschiedliche Maßnahmen zur Verbesserung der Situation ergriffen.

Umfassende Vorsorge gegen die ökologischen Folgen von Niedrigwasserphasen bieten die Maßnahmenprogramme nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Die dort enthaltenen zahlreichen Maßnahmen dienen zwar vorrangig zur Verbesserung der Gewässerqualität. Maßnahmen wie die Verringerung von Belastungen aus Punktquellen und diffusen Quellen sowie die Verbesserung der Gewässermorphologie inklusive der biologischen Durchgängigkeit der Gewässer tragen aber auch dazu bei, die Resilienz der Gewässer in Niedrigwasserzeiten zu stärken (2).

2009 wurde in Bayern weniger als ein Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche bewässert. Insbesondere Qualitätsanforderungen und Ertragssteigerung, aber auch durch den Klimawandel steigende Temperaturen in der Vegetationsperiode lassen jedoch eine Zunahme des Bewässerungsbedarfes erwarten. Dem steht zugleich möglicherweise ein geringeres nutzbares Wasserdargebot gegenüber. Die Entwicklung des Wasserbedarfs für landwirtschaftliche Bewässerung unter den Bedingungen des Klimawandels, zugleich aber auch ein effizienter, nachhaltiger und umweltverträglicher Umgang mit der Ressource Wasser ist daher für das Niedrigwassermanagement in Bayern von zentraler Bedeutung und langfristig auch im Sinne der Landwirtschaft. Das StMUV hat hierfür im September 2016 ein Pilotförderprogramm aufgelegt, um für größere Gebiete entsprechende Bewässerungskonzepte erarbeiten lassen zu können.

Im Bereich der Landwirtschaft und damit einhergehender Einträge von Nährstoffen und Oberboden über Erosion, Oberflächenabfluss und Grundwasserabfluss ins Oberflächengewässer werden gemäß WRRL Maßnahmen durchgeführt, um die diffusen Einträge zu verringern. Hierzu zählen Anpassungen der Bodenbearbeitung, Bodennutzung oder die Anlage von Gewässerrandstreifen oder Landschaftsstrukturen. Auch wenn in Niedrigwassersituationen die diffusen Einträge aufgrund fehlender Niederschläge naturgemäß gering sind, haben diese Maßnahmen große Bedeutung, da vor allem Einträge bei zwischenzeitlich auftretenden Starkregenereignissen (Gewitter) nicht zu vernachlässigende Belastungsspitzen im Gewässer verursachen.

6 Pilotprojekt Niedrigwassermanagement in Unterfranken

Unterfranken ist innerhalb von Bayern eine besonders trockene Region, es regnet nur etwa halb so viel wie in Südbayern. Deshalb wird noch bis Ende 2017 von der Regierung von Unterfranken ein Pilotprojekt „Niedrigwassermanagement“ in drei Regionen Unterfrankens mit dem Ziel durchgeführt, Handlungsempfehlungen für die verschiedenen Akteure zu entwickeln.

Bei dem Vorhaben sollen konkrete Strategien und Lösungen dafür entwickelt werden, wie betroffene Nutzer wie Landwirte, Wasserversorger und Naturschützer bei zunehmender Hitze und Trockenheit handeln sollten. Dabei ist auch an konkrete Maßnahmen wie die Tröpfchenbewässerung oder der Einsatz trockenresistenter Pflanzen zu denken. Am Ende soll ein Leitfaden stehen, der auch für andere Gebiete innerhalb (und außerhalb) Bayerns einsetzbar ist. Das Projekt wird vom Bayerischen Umweltministerium finanziert.

7 Ausblick

Wir waren bisher in Deutschland in der komfortablen Situation, meist über ausreichend Wasser verfügen zu können. Klimaprojektionen zeigen aber, dass im Laufe der nächsten 100 Jahre der Niederschlag weniger werden wird. Wir müssen uns nach und nach darauf vorbereiten: genau beobachten und dann nach Möglichkeit mit no-regret-Maßnahmen gegensteuern. Um den vielfältigen Nutzungen des Wassers, aber auch den ökologischen Anforderungen gerecht zu werden, muss das ein ganzes Bündel von Maßnahmen sein: langfristige, kurzfristige, lokale, regionale und überregionale.

Literatur

- (1) KLIWA (2016): Klimawandel in Süddeutschland; Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen; Klimamonitoring im Rahmen der Kooperation KLIWA
http://www.kliwa.de/download/KLIWA_Monitoringbericht_2016.pdf
- (2) Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): Niedrigwasser in Bayern - Grundlagen, Veränderung und Auswirkungen;
[http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000014?SID=450412769&ACTIONxSETVAL\(pdfload.htm,AARTxNODENR:349787,USERxPDFNO:PDF\)=Z](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000014?SID=450412769&ACTIONxSETVAL(pdfload.htm,AARTxNODENR:349787,USERxPDFNO:PDF)=Z)
- (3) Pressedienst des Bayerischen Bauernverbands vom 05.08.2015:
<http://www.bayerischerbauernverband.de/pd31-32-hitzestress?suchbegriff2=>
- (4) Bayernkurier 02.10.2015 Weinlese 2015: Potential zu einem ganz großen Jahrgang
<https://www.bayernkurier.de/inland/6303-potential-zu-einem-ganz-grossen-jahrgang>
- (5) Bayerischer Landtag; Landwirtschaftsausschuss: Bericht zum massivem Schädlingsbefall bayerischer Wälder von Ina Friedl, 13.07.2016
<https://www.bayern.landtag.de/aktuelles/sitzungen/aus-den-ausschuessen/landwirtschaftsausschuss-bericht-zu-schaedlingsbefall/>
- (6) Regierung von Unterfranken: Alarmplan für den bayerischen, staugeregelten Main - Gewässerökologie
<https://www.regierung.unterfranken.bayern.de/aufgaben/6/3/00756/index.html>

Abstracts Poster

Energie- und Treibhausgasbilanzierung landwirtschaftlicher Biogassysteme – Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells

Tobias Böswirth¹

¹Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München

Einleitung

In den letzten Jahren erfolgte in Deutschland ein enormer Ausbau des landwirtschaftlichen Biogassektors. Diese Form der dezentralen Stromerzeugung soll dazu beitragen, fossile Energieressourcen einzusparen und Treibhausgasemissionen zu vermindern. Allerdings hat sich gezeigt, dass diese Form der Stromgewinnung nicht immer umweltverträglich und klimaneutral ist. Auf der einen Seite ist die Biogasprozesskette von fossilen Energieressourcen (z. B. Kraftstoff, Strom) abhängig; auf der anderen Seite können entlang der gesamten Prozesskette umfangreiche Mengen an klimawirksamen Treibhausgasen (CO₂, CH₄ und N₂O) emittieren.

Material und Methoden

Um die Interaktionen der Biogasanlage mit dem landwirtschaftlichen Gesamtbetrieb (Pflanzenbau, Tierhaltung) ganzheitlich abbilden zu können, wurde ein hochauflösendes Modell zur Energie- und Treibhausgasbilanzierung von landwirtschaftlichen Biogassystemen entwickelt. Dieses Modell folgt grundsätzlich den Konventionen der Ökobilanzierung, erweitert diese jedoch gezielt um einen neu konzipierten Systemansatz.

Bei der Energiebilanzierung wird der vollständige fossile Energieeinsatz (inkl. dem Vorleistungsbereich) entlang der gesamten Prozesskette – von der Substraterzeugung bis zur Stromeinspeisung in das Stromnetz – in Ansatz gebracht. In der Treibhausgasbilanz werden wiederum die gesamten THG-Emissionen aus dem fossilen Energieeinsatz sowie die THG-Emissionen auf Feldebene (N₂O-Emission, CO₂-Emission aus der Humusdynamik) und Biogasanlagenebene (Gärrestlagerung, Methanschluß an den Verbrennungsmotoren etc.) berücksichtigt.

Die Modellanwendung erfolgt an fünf ausgewählten bayerischen Biogasbetrieben. Zu den Auswahlkriterien zählt u.a. eine regionaltypische Betriebsbewirtschaftung.

Ergebnisse und Diskussion

Bezogen auf den Gesamtprozess erreichen die fünf untersuchten Biogassysteme ein energetisches Output-/Inputverhältnis zwischen 2,7 und 6,2. Damit wird in allen Untersuchungssystemen stets mehr (Bio-)Energie erzeugt als an fossiler Energie aufgewendet wird.

Der erzeugte Biogasstrom in den Untersuchungsbetrieben ist mit CO_{2eq}-Emissionen in Höhe von 68 bis 263 g kWh_{el}⁻¹ verbunden. Eine Kilowattstunde des aktuellen deutschen Strommix weist derzeit rund 535 g an CO_{2eq}-Emissionen auf. Damit leisten alle untersuchten Biogassysteme einen Beitrag zum Klimaschutz, allerdings mit unterschiedlichem Ausmaß.

Autorenanschrift

Dr. Tobias Böswirth
Technische Universität München
Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising
e-mail: tobias.boeswirth@tum.de

Biogassubstrate – Mehr Effizienz durch angepasste Sortenwahl bei Getreide-Ganzpflanzensilage

Dorothea Hofmann¹, Sven Schabel¹, Maria Bär¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Arbeitsgruppe Biomasse

Der Klimawandel erfordert einen verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energien. Biogas zeigt sich im Energiemix der Erneuerbaren Energien aufgrund seiner Flexibilität vorteilhaft. Im Gegensatz zur Wind und Sonne kann Biogas Strom flexibel erzeugen und bedarfsgerecht bereitstellen. Als Multitalent liefert Biogas neben Strom auch Wärme und Kraftstoffe für Erdgasfahrzeuge. Bei der Bereitstellung der benötigten Substrate gilt es die Ressourcen- und Flächennutzung effizient zu gestalten. Die Bewertung der Energiebindung sowie der produktspezifischen THG-Emissionen einzelner Substrate hat gezeigt, dass dies mit hohen Trockenmasse (TM) -erträgen einhergeht (Simon 2013). Neben dem ertragsstarken Mais kommt dabei aus pflanzenbaulicher Sicht sowie aufgrund der Forderung des neuen EEGs (Maisdeckel) dem Anbau weiterer effizienter Kulturen eine bedeutende Rolle zu. Um auch mit Getreide eine möglichst hohe Flächeneffizienz zu erreichen, sind Maßnahmen zur Erhöhung des TM - Ertrages gesucht. Mit dem vorliegenden Versuchsvorhaben sollen das Leistungspotential einzelner Sorten sowie mögliche Ertragsunterschiede zwischen den Sorten aufgezeigt werden. Ertragsstarke und -stabile Sorten sollen als Basis für Sortenempfehlungen eruiert werden. Ziel ist es, auch im Getreideanbau eine hohe und effiziente Nutzung der Flächen zu gewährleisten.

Material und Methoden

Seit 2013 führt die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) einen Sortenvergleich mit den Wintergetreidearten Roggen und Triticale durch. Der Parzellenversuch wurde bayernweit auf mehreren Standorten in einer einfaktoriellen Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Geprüft wurden Roggen- und Triticalesorten mit großer Anbaubedeutung sowie Neuzüchtungen. Dabei handelte es sich um Hybrid- und Populationssorten, sowie um Sorten mit dem Zuchtziel GPS- bzw. Körnernutzung. Der Prüfumfang lag in der Regel zwischen 10 - 12 Sorten. Neben dem Biomasseertrag und Trockensubstanzgehalt, wurden die Merkmale Pflanzenlänge, Bestandsdichte und Entwicklungsstadium der einzelnen Sorten zur Ernte festgestellt.

Ergebnisse

Bis auf wenige Ausnahmen konnten auf allen Standorten und in allen Jahren die Versuche erfolgreich realisiert werden. Das Ertragsniveau fiel auf den Standorten unterschiedlich aus, wobei sich bestimmte Sorten auf allen Standorten vorteilhaft bzw. weniger anbauwürdig zeigten. Im Mittel über die Jahre und Standorte lag der Ertragsunterschied zwischen den Sorten bei 20 – 40 dt/ha Trockenmasse. Die mehrjährigen Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgelistet. Auf allen Standorten präsentierte sich entweder die Triticale Populationssorte *Tender PZO* oder die Hybridsorte *HYT Max* mit dem höchsten Ertrag. Mehrere Sorten zeigten sich im Mittel überdurchschnittlich ertragsstark, diese Überdurchschnittlichkeit war aber nicht auf allen Standorten gegeben (z.B. *Tricanto*). Die Roggensorten verhalten sich ähnlich.

Das Leistungspotential der Sorten auf den einzelnen Standorten differenzierte auf sehr unterschiedlichem hohem Niveau (nicht dargestellt). Im Erntejahr 2017 lag das Ertragsniveau der Triticalesorten am Standort Baumannshof (tertiäres Hügelland; sandiger Lehm) zwischen 171 - 205 dt TM/ha, während in Grub (Münchener Schotter Ebene; flachgründige, leichte und wasserdurchlässigen

Böden) nur Erträge von 75 – 93 dt TM/ha realisiert werden konnten. Damit differenzierten die Sorten am Baumannshof um 34 dt/ha während es in Grub nur 18 dt TM/ha waren.

Tabelle 1: Mehrjährige relative Erträge der einzelnen Winterroggen- und Wintertriticale-Sorten

Winterroggen				Wintertriticale			
Sorte	Ertrag (relativ)	Prüfjahre		Sorte	Ertrag (relativ)	Prüfjahre	
KWS Progas	106 A	3		Tender PZO	107 A	3	
SU Nasri	103 B	2		HYT Max	106 A	3	
KWS Propower	101 BC	3		Cosinus	103 B	3	
Brandie	101 BC	3		Tricanto	102 BC	3	
SU Performer	101 BC	1		Borowik	102 BC	2	
KWS Binntto	101 BC	1		HYT Prime	101 BC	3	
Helltop	100 BC	3		Balu PZO	101 BC	3	
SU Phönix	100 BC	3		Massimo	99 C	3	
KWS Protherm	98 CD	3		Tulus	97 D	3	
Generator	97 D	3		KWS Aveo	92 E	2	
Inspector	97 D	2		Cedrico	89 F	1	
Conduct	94 E	3					
Mittel	154.23 dt TM/ha			Mittel	159.15 dt TM/ha		
Anzahl Orte	17			Anzahl Orte	19		

Fazit

Die vorliegenden Ergebnisse der Sortenversuche zeigen standortabhängige Differenzierung der Sorten im Ertrag. Damit sind durch die standortangepasste Sortenwahl Ertragssteigerungen möglich. Nachdem mit der Ernte 2016 dreijährige und mehrortige Ergebnisse vorliegen, kann auf Basis der statistischen Verrechnung eine Sortenempfehlung ausgesprochen werden. Empfohlen werden nur Sorten, die im mehrjährigen Mittel überdurchschnittliche Ergebnisse lieferten, sich signifikant von anderen Sorten unterschieden und bereits dreijährig geprüft wurden.

Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, Berater, Betreiber und Landwirte ein Beratungsinstrument an die Hand zu geben, das zur Steigerung der Effizienz beiträgt.

Literatur

1. Simon, R.; Sticksel, E.; Hofmann, D.; Eder, J. Schmid, H. und Hülsbergen, H.-J. (2013): Energiebindung und -effizienz des Energiepflanzenanbaus zur Biogasnutzung; Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25, S.66-67
2. Simon, R.; Sticksel, E.; Hofmann, D.; Eder, J. Schmid, H. und Hülsbergen, H.-J. (2013): Treibhausgasemissionen des Energiepflanzenanbaus zur Biogasnutzung; Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25, S.150-151

Autorenanschrift

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
 Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
 Arbeitsgruppe Biomasse
 Am Gereuth 4
 85354 Freising
 e-mail: Dorothea.hofmann@lfl.bayern.de

Wachstum und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen im Klimawandel

Thomas Rötzer¹, Astrid Moser¹, Mohammad Rahman², Stephan Pauleit², Hans Pretzsch¹

¹Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München

²Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TU München

gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (TLK01U-63929)

Im Vergleich zu ihrem Umland bilden Städte ein eigenes Klima aus. In Abhängigkeit der Lage im Stadtraum, der baulichen Struktur und dem Versiegelungsgrad erhöhen sich z.B. die Temperaturen, insbesondere in der Nacht, während die Luftfeuchte und der Luftaustausch sich verringern, was zu Belastungen für Stadtbewohner führen kann. Der Klimawandel verstärkt diese Wirkungen und stellt deshalb für den Lebensraum Stadt eine große Herausforderung dar. Vor diesem Hintergrund sind Lösungsansätze wie eine Anpassung der grünen Infrastruktur (z.B. Straßenbegleitgrün, Parkanlagen) über Ökosystemleistungen wie Beschattung, Abkühlung und Verbesserung der Luftqualität von hoher Relevanz. Jedoch gibt es zum Wachstum und den Leistungen von Stadtgrün - insbesondere von Stadtbäumen - kaum quantitative Aussagen. Die Arbeit der Forschungsgruppe setzt an dieser Schnittstelle von Stadtplanung und Wissenschaft an, um Aussagen zum Wachstum und den Leistungen der wichtigsten Stadtbaumarten unter derzeitigen Klimabedingungen wie auch unter dem Klimawandel machen zu können.

Methodik, Ergebnisse und Diskussion

Grundlage der Untersuchungen sind Aufnahmen des Wachstums und der Dimensionen von Winterlinden, Robinien und Platanen in sechs bayerischen Großstädten (München, Würzburg, Hof, Kempten, Bayreuth und Nürnberg), die ein breites klimatologisches Spektrum abbilden. Von mittlerer Weile über 1.500 Bäumen unterschiedlicher Altersklassen wurden Werte wie Höhe, Durchmesser, Kronenansatz, Kronenradien, etc. in den sechs Städten erhoben. Von einem Teilkollektiv der Bäume wurden zudem terrestrische Laserscans durchgeführt und Bohrkern entnommen.

Empirische Analysen und statistische Auswertungen zeigen enge baumartenspezifische Zusammenhänge zwischen Baumdimension und Leistung (z.B. Moser et al. 2015). So ist die Entwicklung des Kronendurchmessers eng mit dem Baumalter verknüpft (Abb. 1 a). Ökosystemleistungen wie die Kohlenstoffspeicherung sind ebenfalls stark von der Baumart und den Baumdimensionen geprägt (Abb. 1 b).

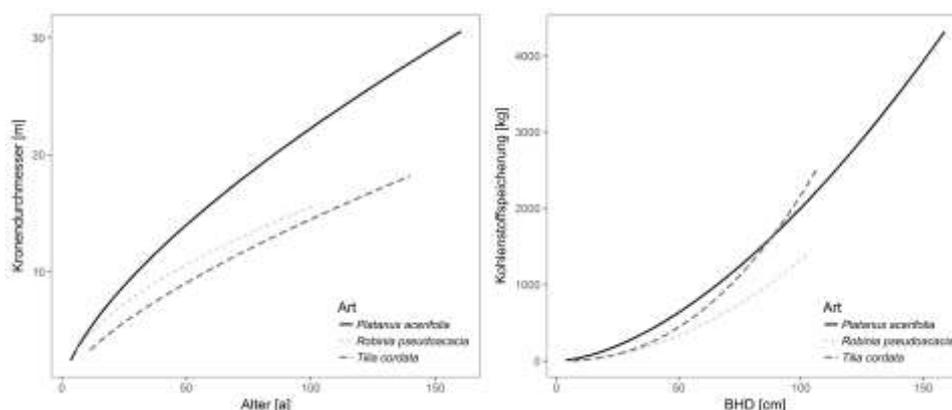


Abb. 1: Zusammenhang Alter und Kronendurchmesser (links) bzw. Durchmesser BHD und Kohlenstoffspeicherung (rechts)

Zudem wird in Baumlaboren in München und demnächst auch in Würzburg das Wachstum und die Ökosystemleistungen von Bäumen in hoher zeitlicher Auflösung gemessen.

Basierend auf den Messwerten und den empirischen Untersuchungen wurde eine erste Version eines prozessbasierten Einzelbaumwachstumsmodell (CityTree) entwickelt, das neben dem Baumwachstum die Kohlenstofffixierung, die Beschattung sowie die Verdunstungs- und Kühlungsleistung von Stadtbäumen unter verschiedenen Umwelt- und Klimaszenarien simulieren kann (Abb. 2).

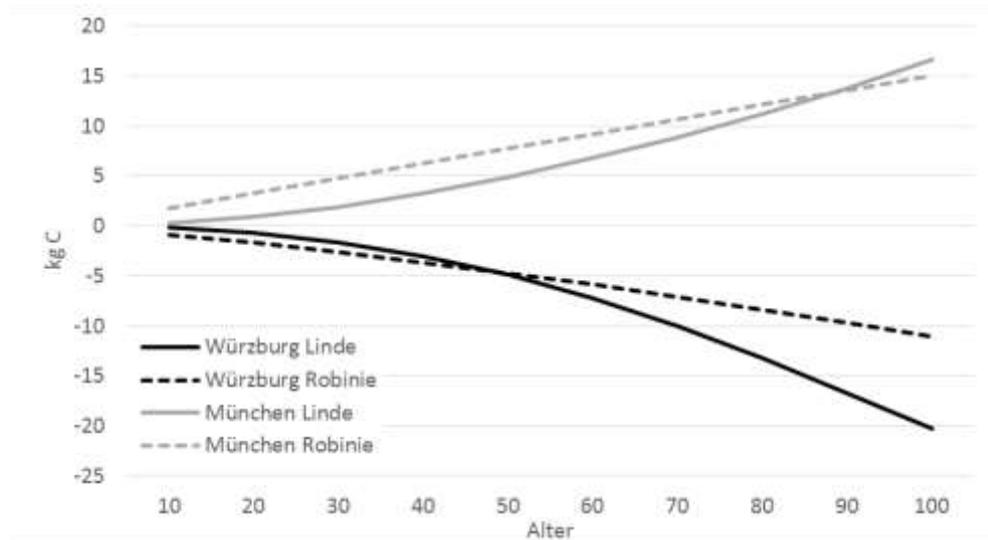


Abb. 2: Veränderung des Wachstums von Linden und Robinien in Würzburg und München unter dem Klimaszenarium A1B (2071-2100); (Referenzperiode: 1985-2014)

Die Ergebnisse zeigen, dass Stadtbäume einen wichtigen Beitrag für klimaangepasste Städte der Zukunft leisten. Für ein nachhaltiges Stadtbaummanagement müssen jedoch zunächst die Eigenschaften wie Wuchsleistung, Klimaanpassung und Vitalität der einzelnen Baumarten eruiert werden, um die Ökosystemleistungen der Stadtbäume an unterschiedlichen Standorten der Stadt angeben zu können.

Literatur

1. Moser, A., Rahman, M., Pretzsch, H., Pauleit, S., Rötzer, T. (2016) Growth of urban small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) at two public squares with contrasting microclimatic conditions. *International Journal of Biometeorology* 61(6):1095-1107
2. Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S., Pretzsch, H. (2015) Structure and ecosystem services of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in urban environments. *Urban Forestry and Urban Greening* 14, 1110-1121.
3. Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Rötzer, T., Caldentey, J., Koike, T., van Con, T., Chavanne, A., Seifert, T., Toit, B., Farnden, C., Pauleit, S. (2015) Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry and Urban Greening* 14:466-479.
4. Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S. (2016): Within canopy temperature differences and cooling ability of *Tilia cordata* trees grown in urban conditions. *Building and Environment* 114:118-128
5. Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S. (2017): Microclimatic differences and their influence on evapotranspirational cooling of *Tilia cordata* in two contrasting street canyons in Munich, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 443-456.
6. Rötzer, T., Wittenzeller, M., Häckel, H., Nekovar, J., 2000: Phenology in central Europe - differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *Int. J. Biometeorology* 44/2: 60-66
7. Rötzer, T., 2007: Auswirkungen des Stadtklimas auf die Vegetation. *Promet* 33(1/2): 40-45.

Autorenanschrift

PD Dr. Thomas Rötzer, Dr. Astrid Moser
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2
85354 Freising
e-Mail: thomas.roetzer@lrz.tum.de, astrid.moser@lrz.tum.de

StaPlaRes – N-Stabilisierung und wurzelnahe Platzierung als innovative Technologien zur Optimierung der Ressourceneffizienz bei der Harnstoff-Düngung

Thomas Kreuter, Enrico Thiel, Joachim Bischoff, Nadine Tauchnitz, Kurt-Jürgen Hülsbergen, Franz-Xaver Maidl, Beat Vinzent, Olaf Christen, Barbara Koblenz, Florian Eißner, Norbert Rauch, Florian Schäfer, Jürgen Augustin, Heinz Stichnothe, Michael Grunert, Carola Schuster

¹SKW Piesteritz GmbH, Wittenberg

²LLG Sachsen Anhalt, Bernburg

³TU München, Freising

⁴Martin-Luther-Universität, Halle

⁵Rauch Landmaschinenfabrik GmbH, Sinzheim

⁶ZALF, Müncheberg

⁷Thünen-Institut für Agrartechnologie, Braunschweig

Einleitung

Weltweit gesehen ist Harnstoff aufgrund von Herstellungs- und Anwendungsvorteilen die wichtigste Mineral-N-Form. Bei der Anwendung harnstoffhaltiger Mineraldünger besteht standort- und witterungsabhängig ein erhebliches Potential für Ammoniak-Verluste (NH_3). Harnstoff eignet sich allerdings sehr gut für die Injektionstechnik bzw. den Einsatz von Inhibitoren zur Verminderung von NH_3 , N_2O und NO_3^- -Verlusten. Das Verbundvorhaben StaPlaRes ermöglicht die umfassende Bewertung verschiedener Verfahren der Harnstoff-Düngung im Rahmen einer Systemanalyse. Der kombinierte Einsatz neuer hocheffektiver Urease- und Nitrifikations-inhibitoren (UI + NI) ermöglicht zugleich eine signifikante Verringerung von NH_3 - und N_2O -Verlusten sowie ein deutlich geringeres Nitrat auswaschungsrisiko. Außerdem kommt es aufgrund einer NH_4^+ -basierten Pflanzenernährung zu positiven Wachstums- bzw. Ertragseffekten, Arbeitseinsparungen durch weniger Düngegaben und einer optimalen Anpassung des Dünge regimes an den Klimawandel.

Material und Methoden

Nach fachlichen und logistischen Gesichtspunkten wurden sechs Arbeitspakete definiert. Das zentrale Versuchsmodul ist ein dreijähriger Fruchtfolgeversuch mit den Fruchtarten Winterraps, Winterweizen und Wintergerste. Dort erfolgt die technische Umsetzung der Düngungsverfahren. Es werden Ertragsparameter und die Dünger-N-Effizienz ermittelt. Außerdem werden hochauflösend gasförmige N-Verluste in Form von NH_3 und N_2O gemessen. In begleitenden Gewächshaus-, Labor- und Lysimeterversuchen werden Effekte der Stabilisierung und Injektion auf N-Umsatzprozesse im Boden untersucht. Grundlegende Prozesse werden beschrieben und quantifiziert. Eine weiterführende Bewertung erfolgt über die Betrachtung von N-Bilanzen und Emissionsfaktoren (NH_3 und N_2O) sowie durch Ökobilanzen bzw. Ökoeffizienzanalysen. Der Verbund beinhaltet schließlich geeignete Strukturen und Werkzeuge für einen zeitnahen Transfer der Erkenntnisse in die landwirtschaftliche Beratung und Anwendung.

Autorenanschrift

Beat Vinzent
Technische Universität München
Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising
e-Mail: beat.vinzent@tum.de

Biotechnical approach against varroa mites in apiculture – opportunities for animal health by climate change effects

Jochen Georg Wiecha

Wissenschaftszentrum Weißenstephan, Technische Universität München (TUM)

Introduction

The mite *Varroa destructor* is the world's most important parasite in nearly every apicultural honeybee hive (*Apis mellifera*). Population growth of these mites is only possible in capped honeybee brood combs during the rearing season from March to October (Rosenkranz et al., 2010). Even today beekeepers recognize bee hives to start rearing quite earlier in spring and hold brood combs until November (Switanek et al., 2017). One of the effects of climate change is global warming, which has already begun in the last few years. Honeybee hives tend to rear until December after a short stop in autumn of only a few days, or don't stop rearing anymore during a moderate winter (Alhaddad and Drachen 1995). So we face an additional rearing period of three months in which also an additional population growth of varroa mites is possible with a doubling of mites per month.

Material and Methods

The population of varroa mites in a single beehive was determined by normal mite fall and sugar shaking method. Dimensions of brood combs and quantity of honeybee individuals was estimated by the so-called „Liebefelder Estimation Method“. International publications of honeybee research groups were compared with regard to the biotechnical measures “drone comb removal“, “queen-caging-“ or “trap-comb method“ and “complete-brood-removal“.

Results and Discussion

All biotechnical treatments showed success against varroa mites. Comb removal of drones twice or three times during spring causes a significant reduction of mite-to-bee ratio in beehives (Calderone 2005). With the methods “complete-brood-removal“ and “queen-caging“ or “trap-comb method“ more than 90% of mite reduction could be achieved (Gregorc et al., 2017).

The fact that these operating modes presented here are suitable against the varroa mite is out of the question. The combination of some of these methods is also possible. A significant increase in the need for working time in apiculture with well-trained specialists is to be mentioned. Savings potential lies in the lower expenditure on acaricides and the less remaining residues in wax and honey. Beekeepers could prevent further colony losses by applying biotechnical methods on their bee hives.

Conclusion

In the course of global warming and climate change, biotechnical varroa control by creating an artificial brood interruption period can gain in importance for apiculture against the reproduction of varroa mites. Therefore we need better educated beekeepers and students of apicultural science, since they could be decision makers in these sectors later.

Literature

1. Alhaddad, S., Drachen, B. (1995) The influence of meteorological conditions on the feeding and egg-laying of the queen honey-bee. *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences* 318(2), 245-248
2. Calderone N. W. (2005) Evaluation of Drone Brood Removal for Management of Varroa destructor (Acari: Varroidae) in Colonies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in the Northeastern United States. *Journal of Economic Entomology*, 98(3):645-650.
3. Gregorc, A., Alburaki, M., Werle, C., Knight, P.R., Adamczyk, J. (2017) Brood removal or queen caging combination with oxalic acid treatment to control varroa mites (*Varroa destructor*) in honey bee colonies (*Apis mellifera*). *Apidologie* 48(5), 1-12, in printing
4. Rosenkranz, P., Aumeier, P., Ziegelmann, B. (2010) Biology and control of *Varroa destructor*. *J. Invertebr. Pathol.* 103 (1), 96–119
5. Switanek, M., Crailsheim, K., Truhetz, H., Brodschneider, R. (2017) Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Science of The Total Environment* 579, 1581-1587

Autorenanschrift

M.Sc. Jochen Georg Wiecha
Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Alte Akademie 8
85354 Freising-Weihenstephan

Weizen- und Maiserträge unter erhöhten Temperaturen in Bayern

Sibel Yildirim*, Kurt Heil, Christine Jasper, Urs Schmidhalter

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München

Auch in Bayern ist der Klimawandel zu beobachten. Klimaprojektionen gehen davon aus, dass die Temperaturen in Bayern künftig zunehmen werden¹. Da Bayern einer der größten Produzenten von Winterweizen und Silomais Deutschlands² ist und zu hohe Temperaturen negative Einflüsse auf Erträge haben³, können Extremjahre aus der Vergangenheit helfen, vulnerable Gebiete zu identifizieren.

Dazu werden landkreisindividuelle Ertragsdaten aus den Jahren 1986-2015 analysiert und in einem weiteren Schritt mit fünf Tagesmitteln verknüpft (während der Vegetationszeit), die aus täglichen Klimadaten berechnet werden. Die ertragsrelevanten, signifikanten Klimagrößen werden durch eine rückwärts schrittweise Variablenselektion ermittelt, um das minimale adäquate Modell zu erhalten. Anhand der signifikanten Klimagrößen werden in der andauernden Studie statistische Modelle (Zeitreihenmodell, Paneldatenmodell und „cross-sectional model“) mit Ertragsdaten aus der Vergangenheit kalibriert und Trainingsdatensätze validiert. Ziel der statistischen Modelle ist es, künftige Erträge aufgrund zukünftiger Änderungen des Klimas abzuschätzen und vulnerable Kreise bzw. Regionen zu ermitteln.

Die Auswertung der Ertragsdaten zeigt, dass beim Winterweizen das Jahr 2003 und beim Silomais das Jahr 2015 zu den niedrigsten Erträgen geführt hat. Die ertragsrelevanten, signifikanten Klimagrößen sind Temperatursummen und der simulierte Bodenwasserhaushalt (beide mit einem Signifikanzniveau $p < 0,01$), wobei bei Temperatursummen der maximale und beim simulierten Bodenwasserhaushalt der minimale Wert von fünf Tagen angenommen wird. Erste Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang zwischen Ertrag und Umweltvariablen von $R^2 = 0,7$. Die statistischen Modelle werden in der laufenden Studie weiter verfeinert und mit Daten aus Klimaprojektionen erweitert werden, um das künftige Produktionsrisiko zu minimieren und vulnerable Gebiete zu identifizieren.

Literatur

1. Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012: J. Danneberg, C. Ebert, H. Komischke, J. Korck, H. Morscheid, J. Weber.: Der Klimawandel in Bayern. Auswertung regionaler Klimaprojektionen. Klimabericht Bayern. S. 2 u. S. 5.
2. Regionaldatenbank Deutschland: „Landwirtschaftliche Betriebe mit Ackerland und deren Ackerfläche nach Fruchtarten 2007 regionale Ebenen“ und Deutsches Maiskomitee e.V.: Flächenerträge von Körnermais und Silomais in Deutschland.
<http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland/Fl%C3%A4chenertr%C3%A4ge>
(Stand: 04.09.2017).
3. S. Asseng, F. Ewert, C. Rosenzweig, J.W. Jones, J. L. Hatfield, A. C. Ruane, K. J. Boote, P. J. Thorburn, R. P. Rötter, D. Cammarano, N. Brisson, B. Basso, P. Martre, P. K. Aggarwal, C. Angulo, P. Bertuzzi, C. Biernath, A. J. Challinor, J. Doltra, S. Gayler, R. Goldberg, R. Grant, L. Heng, J. Hooker, L. A. Hunt, J. Ingwersen, R. C. Izaurralde, K. C. Kersebaum, C. Müller, S. Naresh Kumar, C. Nendel, G. O’Leary, J. E. Olesen, T. M. Osborne, T. Palosuo, E. Priesack, D. Ripoche, M. A. Semenov, I. Shcherbak, P. Steduto, C. Stöckle, P. Stratonovitch, T. Streck, I. Supit, F. Tao, M. Travasso, K. Waha, D. Wallach, J.W. White, J. R. Williams, J. Wolf, Z. Zhao, Y. Zhu: Rising temperatures reduce global wheat production. S.1.

Autorenanschrift

Sibel Yildirim
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Technische Universität München
Emil-Ramann-Str. 2
85350 Freising
e-mail: Yildirim@wzw.tum.de

Spitzenforschung in Bayern

BAY
KLIMAFIT



Projektverbund - Strategien zur Anpassung
von Kulturpflanzen an den Klimawandel

PFLANZEN AUF DIE KLIMABEDINGUNGEN DER ZUKUNFT VORBEREITEN

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen für die Menschheit – ein globales Phänomen mit regionalen Auswirkungen, auch für Bayern. Zur Begrenzung der Folgen sind Minderungsmaßnahmen und Anpassungsstrategien notwendig. Die anwendungsbezogene Forschung kann dazu Lösungsansätze schaffen. Aktuell finanziert das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz den Projektverbund „BayKlimaFit – Strategien zur Anpassung von Kulturpflanzen an den Klimawandel“.

Die Auswirkungen des Klimawandels sind in Bayern bereits allgegenwärtige Realität. Die letzten Jahre haben gezeigt, dass unsere Kulturpflanzen teilweise extremem Stress bei stark wechselnden Umweltbedingungen ausgesetzt sind und diesem widerstehen müssen. Ziel des Projektverbunds ist es, wichtige Erkenntnisse für die Anpassung von Kulturpflanzen an den Klimawandel zu gewinnen und einen Beitrag zur Bayerischen Klima-Anpassungsstrategie zu leisten.

Die Relevanz und Aktualität des Themas sowie die hohe Kompetenz bayerischer Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Pflanzenforschung ist durch die Beteiligung exzellenter Forscher und Arbeitsgruppen aus ganz Bayern dokumentiert. Der Projektverbund soll Antworten geben, welche Mechanismen die Anpassung von Pflanzen an den Klimawandel und an die sich daraus ergebenden neuen Umweltbedingungen ermöglichen.

Gelingt es die molekularen Mechanismen zu verstehen, die Pflanzen nutzen, um sich gegen abiotischen Stress wie Staunässe, Kälte, Trockenheit oder Hitze zu wappnen, können effiziente Strategien zur Stärkung ihrer Widerstandsfähigkeit entwickelt werden. Die Forschungsergebnisse von BayKlimaFit sollen dabei helfen, wichtige heimische Nutz- und Kulturpflanzen robuster gegen extreme Wetterereignisse zu machen und damit besser an die unvermeidlichen Folgen des Klimawandels anzupassen.



Sprecherin und Koordination:
Prof. Dr. Chris-Carolin Schön

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
Technische Universität München
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising

Tel.: +49 (0)8161 713419
E-Mail: info@bayklimate.de
www.bayklimate.de
www.bayfor.org/bayklimate

Finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz mit 2,4 Mio. Euro für eine Laufzeit von 3 Jahren (2016-2019).



BayKlimaFit ist



und Partner der





Koordinierungsvorhaben zum Projektverbund „BayKlimaFit – Strategien zur Anpassung von Kulturpflanzen an den Klimawandel“

Prof. Dr. Chris-Carolin Schön, Dr. Ute Wiegand
 Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung

Gesellschaftliche Herausforderungen	Aufgaben und Ziele der Koordination
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anpassung wichtiger Kulturpflanzen an die in Bayern durch den Klimawandel bedingten Änderungen von Umweltparametern ➤ Nutzung moderner molekularbiologischer Methoden in der Pflanzenforschung ➤ Beitrag zur Umsetzung der Bayerischen Klimaanpassungsstrategie 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inhaltliche und technologische Vernetzung der Einzelprojekte ➤ Weiterentwicklung der Projektziele im Sinne der Bayerischen Klimaanpassungsstrategie ➤ Darstellung und Kommunikation der Gesamtforschungsleistung des Verbunds und ihrer gesellschaftlichen Bedeutung



Universität/ Einrichtung	Lehrstuhl/ Institut	Expertisen
FAU Erlangen-Nürnberg	Biochemie	Molekulare Pflanzenbiochemie und -biotechnologie
LfL Freising	Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung	Gerstenzüchtung und -anbau, Braugerste
LMU München	Genetik	Molekulare Genetik, Pflanzenphysiologie, Pflanzen-Mikroben Interaktionen
Universität Bayreuth	Pflanzenphysiologie	Überflutungsstress, Genexpressionsanalysen, Primärstoffwechsel
Universität Regensburg	Zellbiologie und Pflanzenbiochemie	Reproduktionsbiologie, Reverse Genetik
Universität Würzburg	Biowissenschaften	Schließzell- und Stressphysiologie, Biophysik, Molekularbiologie
TU München	Botanik	Pflanzenphysiologie, abiotischer Stress, Signaltransduktion
TU München	Pflanzenzüchtung	Quantitative Genetik, Pflanzenzüchtung
TU München	Phytopathologie	Molekulare Pflanzen-Mikroben Interaktion, genetischer und integrierter Pflanzenschutz



Poster zu laufenden Arbeiten
am Hans Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften

Interaktionen zwischen Kohlenhydrat- und Proteinstoffwechsel von Getreiden und Leguminosen im Verlauf der Keimung *in vitro*

Daniel Brugger^{1,2}, Vivienne Inhuber², Sabine Obermeier³, Wilhelm Windisch², Klaus Damme¹

¹LVFZ Kitzingen, Bavarian State Research Center for Agriculture

²Chair of Animal Nutrition, TUM School of Life Sciences Weihenstephan, Technical University of Munich

³Institut für ökologischen Landbau, Bavarian State Research Center for Agriculture

Einleitung

Seit dem Verbot tierischer Eiweißträger müssen Schweine und Geflügel überwiegend mit pflanzlichen Futtermitteln ernährt werden (1). Diese Spezies sind allerdings nur bedingt in der Lage pflanzliche Biomasse zu verwerten. In freier Wildbahn sind sie daher in gewissem Maße auf die Aufnahme tierischer Proteine angewiesen (Omnivore Spezies) (2, 3). Man kann also durchaus sagen, dass die derzeitige Praxis der Fütterung von Monogastriden, in konventionellen und ökologischen Produktionssystemen, in ihren Grundzügen nicht tiergerecht ist. Während konventionelle Tierhalter diese Nachteile durch den Zusatz kristalliner Aminosäuren (zur Verbesserung der Eiweißwertigkeit) und exogener Enzympräparate (z.B. Phytasen, Proteasen, Amylasen, Xylanasen etc.) deutlich kompensieren können (4), stehen diese Hilfsmittel im Ökolandbau derzeit nicht zur Verfügung. Gleichzeitig fordern jedoch Vertreter aus Wirtschaft und Politik, eine Verdopplung der Produktionskapazität für ökologisch erzeugter Produkte tierischer Herkunft, bei gleichzeitig 100%igem Einsatz (heimischer) Ökofuttermittel. Aufgrund der bereits erwähnten biologischen Flaschenhalse, ist diese Forderung zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch wenig praktikabel.

Studien aus dem Bereich der Humanernährung legen nahe, dass durch ein Ankeimen pflanzlicher Körner und Samen deren Nährstoffspektrum verbessert wird und ihre Nährstofflöslichkeit steigt. Dadurch zeigte, sich zumindest *in vitro*, eine verbesserte Verdaulichkeit der Futtermatrix (5-10). Dies könnte eine mögliche Strategie darstellen, die tierische Verwertung pflanzlicher Biomasse zu erhöhen und so einen verstärkten Einsatz heimischer Ökofuttermittel zu ermöglichen. Aus diesem Grund hat das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, auf Antrag der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, ein Projekt bewilligt, um zu erforschen wie sich das Spektrum und die Verfügbarkeit von Nährstoffen in heimischen Getreiden und Leguminosen im Verlauf der Keimung verändert. Vorliegende Studie untersuchte im Rahmen dieses Projektes, den Einfluss der Keimung auf die Kohlenhydratfraktionen und potentielle Interaktionen mit dem Proteinstoffwechsel.

Material und Methoden

Zertifiziertes Ökosaatgut von Gerste, Hafer, Roggen, Lupine, Ackerbohne und Saatwicke wurde für 24h geweicht (Tauchweiche) und anschließend für 156h bei kontinuierlicher Anfeuchtung der Produkte bei einer Umgebungstemperatur von $10 \pm 1^\circ\text{C}$ gekeimt. Die Keimung erfolgte mit dem Keimrad 100 (Söllradl GmbH, Kremsmünster). Es wurden Proben vom Rohprodukt sowie nach 12, 60, 84, 108 und 156h Keimung gezogen und sofort bei -80°C eingelagert. Im Vorfeld der Analytik wurde das Material gefriergetrocknet und durch ein 0,5 mm Sieb gemahlen. Die Analytik umfasste die Bestimmung des Ethanol-löslichen Anteils (als Maß für den Anteil an freien Zuckern), der Stärke und der Faserfraktionen (neutrale Detergentienfaser (NDF), saure Detergentienfaser (ADF), saures Detergentienlignin (ADL)) nach Standardmethoden (11). Diese Konzentrationen wurden mit den Gesamtmassen der einzelnen Produkte im Keimbehälter zu den jeweiligen Zeitpunkten verrechnet, um die jeweiligen Gesamtmassen abzuleiten. Die statistische Auswertung umfasste eine zweiwertige Varianzanalyse (Frucht, Keimdauer) der Ergebnisse zu den Kohlenhydratfraktionen sowie eine Korrelationsanalyse

nach Pearson zwischen Kohlenhydratfraktionen und Aminosäuregehalten (auf Basis früherer Befunde (12)).

Ergebnisse und Diskussion

Erwartungsgemäß induzierte die Keimung einen signifikanten Verlust in der Stärkemasse der Produkte verglichen mit dem Rohprodukt (>20% Verlust über Zeit) ($p < 0,05$). Parallel dazu nahm die Ethanol-lösliche Gesamtmasse kurzfristig numerisch zu um nach ≥ 60 h Keimung sukzessive und signifikant einzubrechen ($p < 0,05$; ebenfalls >20% Verlust über Zeit). Die Analyse der Faserfraktionen offenbarte einen deutlichen, signifikanten Anstieg der Gesamtmasse an NDF über Zeit (+~30%, $p < 0,05$). Demgegenüber kam es zwar zu einem numerischen Anstieg bei ADF und ADL (+3% bzw. +5%), allerdings waren diese Trends nicht signifikant, und verkehrten sich langfristig ins Gegenteil, so dass in beiden Fällen zum Ende hin 4% bzw. 8% weniger Gesamtmasse als im Rohprodukt vorhanden war. Eine Korrelationsanalyse zwischen den Gesamtmassen der einzelnen Kohlenhydratfraktionen und früher erhobenen Gesamtmassen an Aminosäuren (12) offenbarte interessante Zusammenhänge. So zeigte die Masse an Reinprotein eine signifikante, positive Beziehung ($p < 0,05$) zur Ethanol-löslichen Gesamtmasse sowie zum ADL, sowie eine relevante, positive Beziehung ($p < 0,1$) zur ADF Masse. Weder die Gesamtmasse an Stärke noch NDF zeigten eine relevante Beziehung zum Proteinanteil, wobei aber eine signifikante, positive Beziehung zueinander bestand ($p < 0,05$).

Unsere Daten weisen auf eine direkte Umwandlung von Stärke in NDF, im Zuge der Keimung hin. Dies dürfte in erster Linie auf einen Anstieg löslicher Faserstoffe zurückzuführen sein, da sich keine signifikante Interaktion zwischen der Stärke und ADF bzw. ADL nachweisen lies. Interessant sind in diesem Zusammenhang die positiven Interaktionen zwischen Gesamtprotein und Ethanol-löslichem Anteil, ADF bzw. ADL. Die direkte Beziehung zum Ethanol-löslichen Anteil dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Ethanol-lösliche Fraktion mutmaßlich auch lösliche Aminosäuren enthielt. Demzufolge ist die direkte Diskussion dieser Fraktion als Marker für freie Zucker schwierig, solange sie nicht um den Anteil an Aminosäuren korrigiert wurde. Des Weiteren erklärt sich daraus unter Umständen die Tatsache, dass keine signifikante, inverse Beziehung zwischen Stärkeabbau und der Ethanol-löslichen Fraktion erkennbar war. Die beobachtete direkte Beziehung zwischen Zellulose bzw. Lignin und dem Gesamtprotein weist darauf hin, dass die Synthese bzw. Lyse von Gesamtprotein im Keimverlauf (siehe Brugger, et al. (12)) in direktem Zusammenhang mit der Proliferation von Pflanzenzellen bzw. deren Abbau stand.

Durchgehend zeigten sich in vorliegender Untersuchung Unterschiede in der Kinetik der einzelnen Fraktionen in Abhängigkeit zur Fruchtart. Dies ist nicht zuletzt damit zu erklären, dass die Abhängigkeit von Getreiden und Leguminosen vom Stärkeabbau zum Zwecke der Energiegewinnung unterschiedlich hoch sein dürfte, wie sich aus den verschiedenen Ausgangsmengen an Stärke im Rohprodukt ableiten lässt.

Schlussfolgerung

Die Keimung von Getreiden und Leguminosen induzierte Umverteilungsreaktionen, die den Abbau und die Neusynthese einzelner Kohlenhydratfraktionen zufolge hatte. Zusammenfassend weisen unsere Ergebnisse darauf hin, dass die Synthese von Zellwandbestandteilen (ADF, ADL) direkt mit der Proteinsynthese gekoppelt war. Das lässt den Schluss zu, dass ein Gutteil der bisher beobachteten Neusynthesen von Aminosäuren im Rahmen der Keimung, zum Zwecke der Zellproliferation angestoßen wurden.

Literatur

1. European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. OJEU 2001;32:289-328.
2. Klasing KC. Comparative avian nutrition. Oxon, UK: CAB International, 1998.
3. Barrios-Garcia MN, Ballari SA. Impact of wild boar (*Sus scrofa*) in its introduced and native range: a review. *Biol Invas* 2012;14(11):2283-300,
4. Swiatkiewicz S, Swiatkiewicz M, Arczewska-Wlosek A, Jozefiak D. Efficacy of feed enzymes in pig and poultry diets containing distillers dried grains with solubles: a review. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2016;100(1):15-26.
5. Dalby A, Tsai CY. Lysine and tryptophan increases during germination of cereal grains. *Cereal Chem* 1976;53:222-6.
6. Hamad AM, Fields ML. Evaluation of protein quality and available lysine of germinated and ungerminated cereals. *J Food Sci* 1979;44:456-9.
7. Wu YV. Effect of germination on oats and oat protein. *Cereal Chem* 1983;60:418-20,
8. Flamme W, Kurpjun CH, Seddig S, Jansen G, Jürgens H-U. Gekeimte Samen als Futtermittel - Analytik. Bundesprogramm Ökologischer Landbau, FKZ: 02OE662 2003.
9. Tian B, Xie B, Shi J, Wu J, Caia Y, Xu T, Xue S, Deng Q. Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chem* 2010;119:1195-200,
10. Mbithi-Mwikya S, Van Camp J, Yiru Y, Huyghebaert A. Nutrient and antinutrient changes in finger millet (*Eleusine coracana*) during sprouting. *Lebensm- Wiss u- Technol* 2000;33:9-14.
11. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA). Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Darmstadt: VDLUFA-Verlag, 2012.
12. Brugger D, Stähler R, Thamm C, Riedl A, Obermeier S, Windisch W, Damme K. Zum Einfluß der Keimung auf die Eiweißwertigkeit von Getreiden und Leguminosen. Edition ed. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-V-uAA, ed. Tagungsbericht 2017, 2017:247-9.

Autorenanschrift

Daniel Brugger
Chair of Animal Nutrition
Technical University of Munich
Hans-Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising
e-Mail: daniel.brugger@wzw.tum.de

Diese Studie wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert (Forschungsvorhaben E/15/05). Wir danken der Fa. Söllradl GmbH für ihre Unterstützung und Leihgabe der Keimräder.

Regulation der Zinkhomöostase im Absetzferkel im Verlauf eines kurzfristigen, subklinischen Zinkmangels

Daniel Brugger, Martin Hanauer, Johanna Ortner, Wilhelm Windisch

Chair of Animal Nutrition, TUM School of Life Sciences Weihenstephan, Technical University of Munich

Einleitung

Zink ist eines der am weitesten verbreiteten Übergangsmetalle in lebenden Organismen. Hier ist es an der Regulation grundlegender zellulärer Vorgänge, wie der Genexpression, DNA Replikation sowie der Aufrechterhaltung der DNA Integrität beteiligt. Andererseits hat das Zink ein toxisches Potential wenn seine Gesamtmenge in einem biologischen System bestimmte Grenzen überschreitet (1). Aus diesem Grund ist die Aufnahme, Ausscheidung und Umverteilung von Zink innerhalb des Organismus streng reguliert. Am Ende der jeweiligen Signalkaskaden steht die Modulation von Menge und Translokation bestimmter Zinktransport-Proteine. Mittlerweile wurde eine Vielzahl von Zinktransportern identifiziert, die sich in zwei Familien unterteilen (Solute carrier family 30 (ZnT) und 39 (ZIP)). Derzeit sind im Säuger 10 ZnT und 14 ZIP Proteine bekannt. Dabei scheinen die ZnT Transporter den Zinkgehalt im Zytosol durch Exkretion in den extrazellulären Raum oder Anreicherung in Zellkompartimenten zu reduzieren, wohingegen die Vertreter der ZIP-Familie die Gegenreaktion katalysieren. Die bekannten Zinktransporter unterscheiden sich des Weiteren in ihrer Gewebespezifität, der Translokation innerhalb der Zelle (apikale/basolaterale Plasmamembran, Membranen von Vesikeln und/oder Organellen) und ihrer Reaktivität gegenüber spezifischen extra- und intrazellulären Stimuli (2, 3). Der überwiegende Anteil der bereits publizierten Studien hat sich auf spezifische (Gruppen) von Zinktransportern in bestimmten Geweben unter dem Einfluss eines klinischen Zinkmangels konzentriert. Allerdings scheint der subklinische Zinkmangel in der Natur deutlich häufiger vorzukommen (keine visuellen Symptome wie Wachstumseinbrüche, Futterverweigerung, Hautnekrosen etc.). Aus diesem Grund untersuchte vorliegende Studie den Einfluss eines kurzfristigen, subklinischen Zinkmangels im Absetzferkel, auf die Expression der bekannten Zinktransportergene in Jejunum, Colon, Leber und Niere.

Material und Methods

Die Futter-, Knochen- und Gewebeproben wurden im Rahmen des Experimentes von Brugger, et al. (4) gezogen. Dabei wurden 48 Absetzferkel (50% weiblich, 50% männlich-kastriert) nach einer zweiwöchigen Vorversuchsphase (88 mg Zn/kg Futter; *ad libitum*) einer feinabgestuften Zinkversorgung (38, 33, 38, 43, 48, 58, 68, 88 mg Zn/kg Futter; restriktive Fütterung von 450 g/d) für 8 Tage ausgesetzt. Die Aufstallung erfolgte im Rahmen eines balancierten Blockdesigns (balancierte Verteilung von Lebendmasse, Geschlecht und Wurfgeschwistern). Die Tiere wurden am Ende der Versuchsphase eingeschlafert. Kein Tier zeigte äußerlich sichtbare Anzeichen von Krankheit oder Mangelernährung im Verlauf der Studie. Die Genexpression der Zinktransporter sowie die Bestimmung der Zinkkonzentrationen in Futter, Knochen und Weichgewebe erfolgten nach Brugger, et al. (4). Die statistische Auswertung umfasste Broken-Line Regression von Gruppenmittelwerten relativ zur Zinkkonzentration im Futter sowie lineare Regression von Gruppenmittelwerten relativ zum Knochenzink bzw. dem jeweiligen Gewebezinkgehalt.

Ergebnisse und Diskussion

Die meisten der untersuchten Transkripte wurden in sämtlichen Geweben nachgewiesen. Davon ausgenommen waren lediglich ZIP10 und ZIP12, die in keinem der Gewebe detektiert wurden, sowie ZnT3 dessen Genexpression auf die Niere beschränkt gewesen schien. Die Ergebnisse bzgl. ZIP10 und ZIP12 lassen sich unterschiedlich interpretieren, da die derzeit verfügbaren Sequenzinformationen

zwar ein Gen für ZIP12 nicht aber für ZIP10 im Schwein ausweisen (5). Der ZIP12 wurde bisher nur in Geweben des zentralen Nervensystems sowie Endothel und glatter Muskulatur beschrieben (6, 7). In Kontext zu den eigenen Daten lässt sich schlussfolgern, dass ZIP12 auch im Schwein zumindest in der Mukosa von Dünn- und Dickdarm und des Weiteren in der Leber und Niere keine Rolle zu spielen scheint. In der Tat konnten wir zeigen, dass unser ZIP12 Assay in cDNA aus Mäusehirn funktioniert, obschon es auf Basis von Schweinesequenzen designt wurde. Dies legt ein hohes Maß an Homologie zwischen diesen Säugerspezies nahe.

Viele unserer Daten bzgl. der Gewebespezifität der Genexpression von Zinktransportern sowie ihrer Abhängigkeit zur Futterzinkversorgung stehen in deutlichem Konflikt mit bereits publizierten Daten anderer Gruppen. Dies legt fundamentale Unterschiede in der homöostatischen Regulation unter den Bedingungen eines subklinischen im Vergleich zu einem klinischen Zinkmangel nahe (2).

Nahezu jedes Expressionsmuster der vorliegenden Studie wies einen höchst signifikanten Umschlagpunkt in der Reaktion zur Futterzinkversorgung auf ($p < 0.0001$). Diese Umschlagpunkte lagen entweder im Bereich von ~ 40 oder ~ 60 mg Zn/kg Futter. Daraus erschließen sich klare Hinweise auf die Abhängigkeit bestimmter Gene von spezifischen Stimuli. In der Tat, wurde der Bruttozinkbedarf unter den gegebenen experimentellen Bedingungen auf ~ 60 mg Zn/kg Futter geschätzt (4). Dies legt nahe, dass Zinktransportergene, die ihr Expressionsniveau signifikant verändern wenn die Futterzinkversorgung unter dieses Niveau sinkt, daran beteiligt sind die Zinkaufnahme, -exkretion und -umverteilung zum Zwecke der Sättigung des basalen metabolischen Bedarfs zu modulieren. Allerdings bleibt die Frage offen, wie der Organismus den Zinkstatus im System detektiert und kommuniziert. Andererseits konnten wir in einer früheren Studie zeigen, dass proapoptotische Gene im Herzen hochreguliert, und parallel dazu antioxidative Faktoren verbraucht werden, wenn die Zinkversorgung unterhalb von ~ 43 mg Zn/kg Futter absinkt (8). In diesem Kontext könnte die signifikante Veränderung in der Expression bestimmter Zinktransporter unterhalb dieses Grenzwertes auf Kompensationsreaktionen zur Aufrechterhaltung der Gewebeintegrität hinweisen. Ein prominentes Beispiel hierfür war in vorliegender Studie die ZIP14 Expression in der Leber, die unterhalb von 43 mg Zn/kg Futter linear zunahm. Der ZIP14 wurde jüngst als akute Phase-Protein identifiziert, dass im Rahmen von Entzündungsgeschehen zirkulierendes Zink und nicht-Transferrin-assoziiertes Eisen in die Leber aufnimmt (9, 10). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass es unter den Bedingungen eines subklinischen Zinkmangels im Absetzferkel unter Umständen zu erhöhten, systemischen Entzündungsgeschehen kommt. Dies wäre im Einklang mit Untersuchungen an älteren Menschen, die eine inverse Korrelation zwischen Zinkstatus und inflammatorischen Marken nahelegen (11).

In vorliegender Studie zeigten sich signifikante lineare Regressionen zwischen der Expression von Zinktransportern und der Zinkkonzentration im Knochen (Körperspeiche) bzw. den jeweiligen Zinkkonzentrationen im Weichgewebe. In einigen Fällen schien der Einfluss des Knochenspeichers indirekt über die Modulation des Zinkgehaltes im Weichgewebe zu erfolgen. Einige der ZnT- und ZIP-Gene zeigten allerdings eine exklusive Korrelation zum Knochenspeicher. Dies weist auf eine mögliche endokrine Regulation hin, die in weiteren Studien noch genauer aufgeklärt werden sollte.

Schlussfolgerung

Ein subklinischer Zinkmangel im Absetzferkel scheint fundamentale Unterschiede in der homöostatischen Regulation verglichen zur Situation bei klinischem Zinkmangel aufzuweisen. Zudem scheinen bestimmte Zinktransporter in erster Linie zur Kompensation erhöhter Stress- oder Entzündungslevel von Bedeutung zu sein. Spezifische Regressionsmuster zum Knochenspeicher weisen zudem auf eine, derzeit noch völlig unbekannte, endokrine Regulation hin.

Literatur

1. Holt RR, Uiu-Adams JY, Keen CL. Zinc. Edition ed. In: Erdman JW, Macdonald IA, Zeisel SH, eds. Present Knowledge in Nutrition. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell, 2012:521 - 39.
2. Lichten LA, Cousins RJ. Mammalian zinc transporters: Nutritional and physiologic regulation. *Ann Rev Nutr* 2009;29(1):153-76.
3. Schweigel-Röntgen M. The families of zinc (SLC30 and SLC39) and copper (SLC31) transporters. Edition ed. In: Bevensee MO, ed. Exchangers. Burlington: Academic Press, 2014:321-55.
4. Brugger D, Buffler M, Windisch W. Development of an experimental model to assess the bioavailability of zinc in practical piglet diets. *Arch Anim Nutr* 2014;68:73-92.
5. Pruitt KD, Brown GR, Hiatt SM, Thibaud-Nissen F, Astashyn A, Ermolaeva O, Farrell CM, Hart J, Landrum MJ, McGarvey KM, et al. RefSeq: an update on mammalian reference sequences. *Nucleic Acid Res* 2013;42(Database issue):D756-D63.
6. Chowanadisai W. Comparative genomic analysis of slc39a12/ZIP12: insight into a zinc transporter required for vertebrate nervous system development. *PLoS One* 2014;9(11):e111535.
7. Zhao L, Oliver E, Maratou K, Atanur SS, Dubois OD, Cotroneo E, Chen CN, Wang L, Arce C, Chabosseau PL, et al. The zinc transporter ZIP12 regulates the pulmonary vascular response to chronic hypoxia. *Nature* 2015;524(7565):356-60.
8. Brugger D, Windisch W. Short-term subclinical zinc deficiency in weaned piglets affects cardiac redox metabolism and zinc concentration. *J Nutr* 2017;147(4):521-7.
9. Liuzzi JP, Aydemir F, Nam H, Knutson MD, Cousins RJ. Zip14 (Slc39a14) mediates non-transferrin-bound iron uptake into cells. *PNAS* 2006;103(37):13612-7.
10. Liuzzi JP, Lichten LA, Rivera S, Blanchard RK, Aydemir TB, Knutson MD, Ganz T, Cousins RJ. Interleukin-6 regulates the zinc transporter Zip14 in liver and contributes to the hypozincemia of the acute-phase response. *PNAS* 2005;102(19):6843-8.
11. De Paula RCS, Aneni EC, Costa APR, Figueiredo VN, Moura FA, Freitas WM, Quaglia LA, Santos SN, Soares AA, Nadruz Jr. W, et al. Low zinc levels is associated with increased inflammatory activity but not with atherosclerosis, arteriosclerosis or endothelial dysfunction among the very elderly. *BBA Clin* 2014;2:1-6.

Autorenanschrift

Daniel Brugger
Chair of Animal Nutrition
Technical University of Munich
Hans-Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising
e-Mail: daniel.brugger@wzw.tum.de

Wir danken der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung (BAT) e.V. für die großzügige, finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

Eine Absenkung des Verhältnisses von neutraler Detergentienfaser zu leichtlöslichen Kohlenhydraten induziert Kompensationsreaktionen im Pansenepithel wachsender Bullen der Rasse Bayerisches Fleckvieh

Daniel Brugger¹, Thomas Ettle², Simon Mangert¹, Wilhelm Windisch¹

¹Chair of Animal Nutrition, TUM School of Life Sciences Weihenstephan, Technical University of Munich;

²Institute for Animal Nutrition and Feed Management, Bavarian State Research Center for Agriculture

Einleitung

Die Zusammensetzung der Kohlenhydratfraktion im Futter hochleistender Wiederkäuer ist, für die Aufrechterhaltung von Funktion und Gesundheit des Pansens sowie des Gesamtorganismus, essentiell. Ein Überhang leichtlöslicher Kohlenhydrate (Stärke, Zucker) zu Ungunsten strukturierter Rohfaser, führt zu einer Verschiebung des Verhältnisses von Acetat:Propionat im Panseninhalt zugunsten des Propionats. Dies erhöht die Gefahr für die Ausbildung (subklinischer) Pansenazidosen. Jüngere Befunde aus dem Bereich der Wiederkäuerphysiologie legen nahe, dass im Pansenepithel hochleistender Wiederkäuer eine verstärkte Synthese von Fettsäuretransportern angeschoben wird, wenn vermehrt Propionat im Pansen anflutet. In der Tat kommt es im Verlauf einer solchen Fütterung nicht nur zu einer Verschiebung des Verhältnisses an flüchtigen Fettsäuren im Pansen, sondern zu einem Anstieg der Fettsäuremenge an sich. Dies lässt sich mit einem sprunghaften Anstieg im Stoffwechsel der Pansenmikroben erklären, bedingt durch den hohen Anteil leichtlöslicher Energieträger im Panseninhalt. Unter solchen Bedingungen kommt dem Pansenepithel eine tragende Rolle bei der Pufferung des Systems zu, denn ein Gutteil der Fettsäuretransporter an der apikalen Membran der Pansenmukosa funktioniert über den Austausch mit Bikarbonat. Dementsprechend führt die Aufnahme von Fettsäuren in die Zellen immer zu einer Ausschleusung von Bikarbonat in das Lumen (1). Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Anstieg in der Stoffwechsellistung des Pansenepithels daran beteiligt ist, die Kompensationskapazitäten des Systems zur erschöpfen und eine Entzündung zu provozieren.

Im Zusammenhang mit der Strukturversorgung von Wiederkäuern wurden bisher insbesondere die Milchkühe berücksichtigt, da sich Ungleichgewichte in der Rationszusammenstellung hier, insbesondere in der Hochlaktation, sehr schnell und sehr deutlich ausprägen (2). Wachsende Rinder, und insbesondere die Mastbullen, wurden in diesem Zusammenhang bisher eher stiefmütterlich behandelt. Aus diesem Grund hat die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in den letzten Jahren verstärkt Untersuchungen durchgeführt. Ziel war es, die geltenden Versorgungsempfehlungen zur strukturierten Rohfaser für die einzelnen Wachstumsphasen zu überprüfen. So konnte in einem ersten Versuch an Bayerischen Fleckviehbullen in der Mittelmast gezeigt werden, dass diese zwar hinsichtlich ihrer Leistung keine Unterschiede zeigen, wenn die Tiere an der Untergrenze der Versorgungsempfehlungen gefüttert wurden (SV 0.6; (3)). Allerdings zeigten sich deutliche Unterschiede im Futteraufnahmeverhalten und in physiologischen Parametern des Pansenepithels. So wiesen die Tiere mit reduziertem SV im Futter ein oszillierendes Futteraufnahmeverhalten auf, geprägt vom Wechsel zwischen reduzierter und kompensatorischer Futteraufnahme (4). Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass die Genexpression bestimmter Fettsäuretransporter hochreguliert wird und in einer hochsignifikanten Beziehung zum Pansen-pH stand. Demnach wiesen die Tiere mit niedrigerer Strukturversorgung eine deutliche höhere Kapazität zum Transport von Fettsäuren aus dem Pansenlumen auf (5).

Infolge dieser Befunde wurde die Hypothese aufgestellt, dass es unter Umständen auch zu

Verschiebungen innerhalb anderer Stoffwechselffade kommen könnte, insbesondere solche die an der Aufrechterhaltung der Gewebeintegrität beteiligt sind (antioxidative Faktoren, Apoptosefaktoren). In diesem Zusammenhang wurde ein Folgeversuch mit Bayerischen Fleckviehbullen in der Anfangsmast durchgeführt, um diesen Sachverhalt näher zu untersuchen.

Material und Methoden

Das experimentelle Modell entsprach dem Ansatz von Etle, et al. (6). Hierbei wurden 71 Bullen der Rasse Bayerisches Fleckvieh (Lebendmasse: 238 ± 21 kg, Alter: 162 ± 6 d) gleichmäßig auf drei Fütterungsgruppen aufgeteilt. Die Gruppen erhielten isonitrogene und isoenergetische Diäten, die sich hinsichtlich ihres Anteils an neutraler Detergentienfaser (peNDFom) und Stärke+Zucker (SZ) unterschieden (peNDFom: 307, 235, 211 g/kg Trockenmasse (TM); SZ: 366, 404, 438 g/kg TM; Verhältnis peNDFom:SZ im Futter: 0,84, 0,58, 0,48). Dies entsprach SV der Gesamtrationen von 1,00, 0,52 und 0,48. Die Bullen wurden mit einem durchschnittlichen Alter von 478 Tagen nach 24h Nüchterung geschlachtet. Es wurden Proben des Pansenepithels gezogen, zur Messung der Genexpression von Fettsäuretransportern und Genen des p53 Signalwegs. Die statistische Auswertung erfolgte über lineare Regression der Behandlungsmittelwerte relative zum Verhältnis von peNDFom:SZ im Futter.

Ergebnisse und Diskussion

Frühere Publikationen aus demselben Versuch kamen zu dem Ergebnis, dass die Tiere über Gruppen keinerlei signifikante Unterschiede in den Lebendmaßen zum 478. Lebensstag aufwiesen. Allerdings zeigte sich, dass die Tiere in den Gruppen mit $SV < 1,0$ signifikant mehr Futter je Tier und Tag aufnahmen (6). Dies legt nahe, dass diese Tiere eine schlechtere Futtermittelverwertung aufwiesen, was auf Störungen der ruminalen Fermentation durch eine Verschiebung des Fettsäuremusters zugunsten des Propionates erklärt werden kann. Allerdings wiesen die Tiere zum Zeitpunkt der Schlachtung keinerlei Unterschiede im Pansen-pH oder den Anteilen einzelner Fettsäuren auf. Dabei darf aber nicht vergessen werden, dass vor der Schlachtung eine 24stündige Nüchterung stattfand und früheren Untersuchungen zufolge, Tiere mit $SV < 1,0$ ein höheres Potential zur Absorption flüchtiger Fettsäuren aufweisen (5). Dies deckt sich mit den Befunden aus vorliegender Arbeit, in denen ebenfalls ein Anstieg in der Genexpression von Fettsäuretransportern an der Pansenschleimhaut festgestellt werden konnte. Zudem konnte, in Ergänzung früherer Befunde bzgl. eines erweiterten Verhältnisses von nicht-oxidiertem zu oxidiertem Glutathion in diesen Gruppen (7), ein Anstieg in der Expression proapoptotischer und antioxidativer Gene verzeichnet werden. Demzufolge mussten die Bullen mit $SV < 1,0$ deutlich mehr Stoffwechsel betreiben um das Redoxgleichgewicht innerhalb des Pansenepithels und damit die Gewebeintegrität zu gewährleisten. Weiterführende Untersuchungen klären derzeit ob bereits erste, subakute Anzeichen für ein Entzündungsgeschehen nachweisbar sind.

Schlussfolgerung

Eine Fütterung von Bullen in der Anfangsmast, nahe den geltenden Bedarfsempfehlungen zur Versorgung mit strukturierter Rohfaser, induzierte signifikante Unterschiede in der Anpassung des Pansenepithels. Die Befunde stellen zwar kein pathologisches Geschehen dar, repräsentieren jedoch eine erhöhte Stoffwechselbelastung. Dies könnte möglicherweise zu einer reduzierten Kompensationsfähigkeit, z.B. im Falle eines Eintrags bakterieller Toxine, führen.

Literatur

1. Aschenbach JR, Penner GB, Stumpff F, Gäbel G. Ruminant nutrition symposium: Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. *J Anim Sci* 2011;89:1092-107.
2. Schwarz FJ. Fütterung und Milchzusammensetzung. Edition ed. In: Kirchgessner M, ed. *Tierernährung*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH, 2011:377 - 82.
3. NRC. Nutrient requirements of beef cattle. Washington, D.C., USA: Nat. Acad. Press, 2000.
4. Ettle T, Windisch W, Spiekers H, Obermaier A. Effects of a varying structural value of diets for fattening bulls on feed intake and fattening performance. *Proc Soc Nutr Physiol* 2016;25:132.
5. Brugger D, Ettle T, Feser S, Windisch W, Bolduan C. Post mortem endpoints of ruminal fermentation and anion/proton transporter gene expression as affected by variations in the amounts of physically effective neutral detergent fibre in the diets of growing German Fleckvieh bulls. *Proc Soc Nutr Physiol* 2016;25:17.
6. Ettle T, Spiekers H, Obermaier A, Windisch W. Effects of varying supply of fibre, starch and sugar for fattening bulls on feed intake and fattening performance. *Proc Soc Nutr Physiol* 2017;26:100.
7. Brugger D, Ettle T, Windisch W, Bolduan C. Effect of varying supply with neutral detergent fibre, starch and sugar to fattening bulls on post-mortem endpoints of ruminal fermentation and glutathione metabolites within rumen papillae. *Proc Soc Nutr Physiol* 2017;26:22.

Autorenanschrift

Daniel Brugger
Chair of Animal Nutrition
Technical University of Munich
Hans-Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising
e-Mail: daniel.brugger@wzw.tum.de

Wir danken den Sponsoren für ihre Unterstützung!



Agrarwissenschaftliches Symposium 2017