



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# Agrarforschung hat Zukunft

Wissenschaftstagung der LfL



**Schriftenreihe**

4

2013

ISSN 1611-4159

## **Impressum**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Redaktion: Abt. Information- und Wissensmanagement  
Lange Point 12, 85354 Freising  
E-Mail: [AIW@LfL.bayern.de](mailto:AIW@LfL.bayern.de)  
Telefon: 0816171-5804

1. Auflage: Juni 2013

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 15,00 Euro

© LfL



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



**Jahre LfL**  
**2003 – 2013**

# **Agrarforschung hat Zukunft**

**Wissenschaftstagung der LfL**

Tagungsband



# Inhaltsverzeichnis

|  | Seite      |
|--|------------|
| <b>Vorwort .....</b>   | <b>7</b>   |
| <b>Plenum:</b>   |            |
| <b>„Sicherung der globalen Lebensmittel- und Energieversorgung“ –<br/>Ein Ausblick bis 2050 und darüber hinaus .....</b> | <b>9</b>   |
| Josef Schmidhuber  |            |
| <b>Die Bedeutung der angewandten Systemforschung im Agrarbereich.....</b>  | <b>23</b>  |
| Friedhelm Taube  |            |
| <b>Zukünftige Aufgaben im Bereich Forschung: Pflanzenbau .....</b>   | <b>37</b>  |
| Peter.Doleschel  |            |
| <b>Zukünftige Aufgaben im Bereich Forschung: Erzeugung von Milch und<br/>Fleisch .....</b>                               | <b>43</b>  |
| Kay-Uwe Götz, Hubert Spiekers und Georg Wendl  |            |
| <b>Arbeitskreis 1: Eiweißstrategie Bayern</b>  |            |
| <b>Anthracnose bei Rotklee: Ansätze zur Züchtung resistenter Sorten .....</b>  | <b>59</b>  |
| Irene Jacob und Stephan Hartmann   |            |
| <b>Vergleich der Verfahrenstechnik zur Sojaaufbereitung.....</b>   | <b>63</b>  |
| Stefan Thurner, Robert Zeindl, Ludwig Asam   |            |
| <b>Ölpresskuchen als heimische Eiweißquelle im Forellenfutter.....</b>   | <b>73</b>  |
| Alexander M. Greiling, Reinhard Reiter, Markus Rodehutschord   |            |
| <b>Einsatz von Rapsextraktionsschrot beim Schwein.....</b>   | <b>80</b>  |
| Wolfgang Preißinger, Hermann Linder Mayer, Günther Propstmeier, Simone Reindler  |            |
| <b>Heimisches Eiweißfutter und Verbraucher: Umfrageergebnisse und<br/>Expertenbewertungen .....</b>                      | <b>89</b>  |
| Anne Uhl, Josef Schnell  |            |
| <b>Arbeitskreis 2: Regenerative Energien</b>   |            |
| <b>Optimierte und nachhaltige Biogasfruchtfolgen .....</b>   | <b>97</b>  |
| Dorothea Hofmann, Robert Simon, Ewald Sticksel   |            |
| <b>Mikrobiologische Prozesse steuern und nutzen.....</b>   | <b>105</b> |
| Michael Lebuhn, Bernhard Munk, Veronika Dollhofer, Bianca Fröschle   |            |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Verfahrenstechnische Optimierung von Biogasanlagen</b> .....  | 115 |
| Mathias Effenberger, Andreas Weber   |     |
| <b>Biogasgärreste effizient und nachhaltig einsetzen</b> .....   | 123 |
| Fabian Lichti, Matthias Wendland, Urs Schmidhalter, Konrad Offenberger   |     |
| <b>Biogas als Baustein der Energiewende</b> .....  | 133 |
| Martin Strobl  |     |
| <b>Arbeitskreis 3: Pilzbefall und Mykotoxine in Futter- und Nahrungsmitteln vermeiden</b>                        |     |
| <b>Vorkommen und Analyse von Mykotoxinen in pflanzlichen Erzeugnissen</b> .....                                  | 141 |
| Johann Rieder  |     |
| <b>Vermeidung von Mykotoxinbildung in Silagen</b> .....  | 149 |
| Johannes Ostertag, Wolfgang Richter, Johann Bauer  |     |
| <b>Bedeutung der Sortenzüchtung und Sortenwahl für den <i>Fusarium</i>-Befall von Winterweizen</b> .....         | 157 |
| Lorenz Hartl, Ulrike Nickl   |     |
| <b><i>Fusarium</i>-Monitoring und gezielter Fungizideinsatz zur <i>Fusarium</i>-Bekämpfung in Getreide</b> ..... | 167 |
| Stephan Weigand, Peter Büttner, Peter Eiblmeier  |     |
| <b>„Strategien zur Vermeidung von <i>Fusarium</i>-Pilzen und Mykotoxinbildung in Mais“</b> .....                 | 177 |
| Joseph-Alexander Verreet, MSc Christoph Algermissen, Joachim Eder, Michael Zellner                               |     |
| <b>Arbeitskreis 4: Grünland effizient und nachhaltig bewirtschaften</b>  |     |
| <b>Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen</b> .....                          | 185 |
| Michael Diepolder, Sven Raschbacher, Sabine Heinz, Gisbert Kuhn  |     |
| <b>Alternativen zu Mais im Futterbau – Aktuelle Ergebnisse von Feldversuchen in Gunstlagen</b> .....             | 195 |
| Andrea Wosnitza, Stephan Hartmann  |     |
| <b>Effiziente Futterwirtschaft auf Betriebsebene</b> .....   | 203 |
| Brigitte Köhler, Michael Diepolder, Stefan Thurner, Hubert Spiekers  |     |
| <b>Weide zur effizienten Grünlandnutzung</b> .....   | 213 |
| Siegfried Steinberger, Hubert Spiekers   |     |
| <b>Milcherzeugung auf Grünland aus ökonomischer Sicht</b> .....  | 223 |
| G. Dorfner, G. Hofmann   |     |

## Vorwort

Die Imagebroschüre der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ist überschrieben mit dem Satz „Forschung, die jeden berührt“. Die Agrarwissenschaften beschäftigen sich mit vielen elementaren Bedürfnissen des menschlichen Daseins. Nahrungs- und Futtermittel, regenerative Energien, Umweltfragen, Kulturlandschaft als Lebens- und Erholungsraum, Biodiversität sind nur einige Begriffe, die diese Aussage untermauern. Das Besondere an der praxisorientierten Agrarforschung ist, dass sie sich mit diesen für die Menschen so wichtigen Fragestellungen unmittelbar auseinandersetzt.

Seit der Gründung der LfL vor 10 Jahren ist viel passiert. Die Welternährungssituation hat sich eher verschlechtert als verbessert, der Klimawandel ist unübersehbar geworden, die Meinungen über die künftige Energieversorgung und über die Gentechnik in der Landwirtschaft trafen immer weiter auseinander, der Pflanzenschutz und Fragen des Tierwohls werden heiß diskutiert. Gleichzeitig ist in der Gesellschaft eine gewisse Wissenschaftsskepsis festzustellen. Selbsternannte „unabhängige Experten“ haben vielfach die öffentliche Meinungsführerschaft übernommen. Angesichts vielfältiger Informationsmöglichkeiten wird es für jeden Einzelnen immer schwieriger, sich eine fundierte eigene Meinung zu bilden.

Die Landesanstalt für Landwirtschaft will in diesem schwierigen Umfeld Orientierung geben und auf der Basis wissenschaftlich exakter und neutraler Forschungsergebnisse eine sichere Informationsbasis bieten. Um die komplexen Zusammenhänge zu verstehen, sind ein Denken in Systemen und ein Brückenschlag zwischen Grundlagenforschung und praxisorientierter Forschung zwingend notwendig. Die Struktur der LfL, die projektbezogene Forschung, die institutsübergreifende Zusammenarbeit in Arbeitsschwerpunkten, die Weitergabe unmittelbar anwendbarer Ergebnisse und deren verständliche Interpretation erfüllen diese Voraussetzungen. Hilfreich ist dabei die Kooperation mit Universitäten, Hochschulen sowie Bundes- und Länderforschungseinrichtungen. Ein besonderer Standortvorteil ist die Nähe und die Einbindung am Wissenschaftsstandort Weihenstephan.

Arbeitsschwerpunkte sind die Formate, in denen komplexe Fragestellungen institutsübergreifend und umfassend bearbeitet werden. Sie sollen deshalb nach einer Standortbestimmung der angewandten, systemorientierten Agrarforschung durch externe Experten im Mittelpunkt der Arbeitskreissitzungen stehen. Dazu werden am Nachmittag in verschiedenen Sektionen unserer Wissenschaftstagung Ergebnisse aus vier der acht aktuell an der Landesanstalt bearbeiteten Arbeitsschwerpunkte vorgestellt. Trotz des breiten Spektrums können dabei nur jeweils einzelne Aspekte herausgegriffen und zur Diskussion gestellt werden. Wer mehr dazu wissen will, ist herzlich eingeladen, sich im Internet oder bei einer der zahlreichen Informationsveranstaltungen der Landesanstalt vertieft mit den Themen zu beschäftigen.

Mein Dank gilt dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Unterstützung unserer Arbeit sowie all denen, die diese Tagung vorbereitet haben und sich aktiv als Referenten und aktive Teilnehmer einbringen.

Jakob Opperer  
Präsident





---

## **„Sicherung der globalen Lebensmittel- und Energieversorgung“ – Ein Ausblick bis 2050 und darüber hinaus**

Josef Schmidhuber

Statistics Division  
Food and Agriculture Organization of the United Nations  
00153 Rome/ItalyFAO,  
Statistikabteilung  
Josef.Schmidhuber@fao.org

### **Zusammenfassung**

Der langfristige Ausblick der FAO auf Welternährung und -agrarmärkte kommt zum Schluss, dass die Weltlandwirtschaft durchaus das Potenzial hat ausreichend Nahrungsmittel für alle Menschen zur Verfügung zu stellen, heute und in Zukunft. Unabhängig vom globalen Produktionspotenzial wird das Problem der globalen Unter- oder Fehlernährung allerdings weiterbestehen und nur sukzessive mit weiteren Anstrengungen in der Armutsbekämpfung in den Griff zu bekommen sein.

Die Landwirtschaft spielt interessanterweise bei der Armutsbekämpfung wiederum eine zentrale Rolle. Die Lebensgrundlage der meisten Armen hängt direkt oder indirekt von der Landwirtschaft ab und eine Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktivität nimmt damit eine zentrale Rolle ein, die Lebensgrundlage der Armen nachhaltig zu verbessern. Investitionen in Agrarforschung sind und waren damit schon immer ein wichtiger Ansatz zur Hunger- und Armutsbekämpfung. Gleichzeitig waren solche Investitionen auch immer ein wichtiger Beitrag zur Schonung der globalen Ressourcen. Höhere Erträge haben immer geholfen, Flächen zu schonen, Wasser zu sparen und die Artenvielfalt zu erhalten.

Dieser Artikel diskutiert mit der Rolle der Energiemärkte auch eine wichtige Neuentwicklung in den Weltagrarmärkten, die im globalen Ausblick der FAO noch nicht ausreichend berücksichtigt ist. Die Energiemärkte werden sowohl in ihrer Rolle für die Preisfindung als auch im Hinblick auf die Auswirkungen der Investitionen in die Agrarforschung erörtert. Es wird insbesondere gezeigt, wie die Energiemärkte über die Verwendung von Rohstoffen für die Bioenergiegewinnung ein Mindestpreisniveau für Nahrungs- und Agrarprodukte schaffen. Es wird auch gezeigt, wie ein Übergang in der Nachfragestruktur von unelastischen und gesättigten Märkten hin zu elastischer Nachfrage und kaum zu sättigenden Märkten auch die Auswirkungen der Agrarforschung ändern. Dieser Prozess wird als Übergang von einem Cochrane Szenario zu einem Jevons Szenario charakterisiert. Sollte sich ein solcher Übergang fest etablieren, könnte dies die Wirkungsweise von Agrarforschungsinvestitionen nachhaltig und grundsätzlich ändern. Mehr Agrarforschung und mithin höhere Produktivität können unter den Voraussetzungen eines Jevons Szenarios ressourcenzerstörend statt ressourcenschonend wirken. Die daraus folgende Empfehlung an die Politik sollte allerdings nicht zu einer Reduzierung der Agrarforschungsausgaben führen, sondern vielmehr die Verwendung von Agrarrohstoffen für den Bioenergiemarkt begrenzen.

## Summary

This article provides a summary of FAO's long-term outlook to 2050. It describes its main drivers and its main results. Space available here does not permit to delve into the details of the outlook, neither in its assumptions nor in its results. The main message that emerges from the detailed outlook as well as this summary is that the world has the potential to feed itself - today and in the future. Under- and malnutrition can and will coexist in a world that has enough potential to feed itself as long as poverty remains widespread across and prevalent in many developing countries. Interestingly and importantly, agriculture and food production have a strong potential role to address poverty. Agriculture is at the heart of the livelihoods of most of the poor and a more productive agriculture is a possible avenue out of existing poverty traps.

This summary also provides an important addition to, and a qualification of FAO's long term outlook. It introduces the possible effects of higher energy prices and shows that persistently high energy prices have the potential to alter the overall positive outlook in a significant way. Firstly, high energy prices would introduce a floor price to food products and would create an end to cheap food for consumers. Secondly, the price volatility of the energy markets is likely to spill over to the agricultural markets and would create an additional burden for producers. Thirdly, high energy prices are changing the overall paradigm that has characterized agriculture around the world for decades. Importantly, the high absorption potential of the energy market for agricultural feedstuffs may mean that traditional policy approaches to feed the world and to save resources may lose their importance or become outright counterproductive. Investments in agricultural R&D, for instance, may lose their impacts on improving food supplies. Their contribution to saving resources may even turn into the possibility of destroying resources (land, water, biodiversity). In short, the vast energy market may introduce a paradigm shift from a Cochrane to a Jevons environment.

## 1 Einführung und Überblick

Die Frage ob eine wachsende Weltbevölkerung auch in Zukunft ausreichend ernährt werden kann, reicht zurück bis ins Altertum. Bereits im 3. Jahrhundert nach Christus begann Tertullian, ein früher Kirchenführer, eine grundsätzliche Debatte über die Grenzen der Welternährung. Die Diskussion erhielt neuen Schwung im späten 18. Jahrhundert mit den Thesen von Thomas Malthus, der die begrenzte Ackerfläche als eine unüberwindbare Begrenzung für eine sich ansonsten exponentiell vermehrende Weltbevölkerung sah. Hungersnöte waren seines Erachtens nicht nur eine notwendige Konsequenz aus den begrenzten Anbauflächen, er sah Hunger gleichzeitig als ein Regulativ, um ein natürliches, wenn auch bedauernswertes Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage nach Nahrungsmitteln zu gewährleisten.

In jüngerer Zeit haben solche neo-malthusianische Ideen wieder an Popularität gewonnen, vor allem mit Veröffentlichungen wie der „Population Bomb“ von Paul Ehrlich [2], oder den „Grenzen des Wachstums“ von Denis Meadows [3] und dem Club of Rome oder den Vorhersagen des World Watch Instituts unter Lester Brown [4]. Im Kern waren sich die Autoren dieser Studien einig: die Welt ist an die Grenzen ihres Wachstums gekommen, nicht nur aber vor allem im Bereich der Nahrungsmittelproduktion. Diesen pessimisti-

schen Voraussagen zum Trotz wuchs die weltweite Nahrungsmittelproduktion über die letzten Jahrzehnte hinweg stetig weiter und dabei deutlich schneller als der Pro-Kopf-Verbrauch. Die Weltbevölkerung erhöhte sich von rund 3 Milliarden Menschen im Jahr 1960 auf knapp 7 Milliarden im Jahr 2010 [5]. Die weltweite Nahrungsmittelproduktion aber stieg noch wesentlich schneller und zwar so rapide, dass sich die Kalorienverfügbarkeit pro-Kopf im selben Zeitraum um knapp 30 % weltweit und um sogar 40 % (von rund 1.880 auf ca. 2.650 kcal/Person/Tag) in den Entwicklungsländern erhöhen konnte.

Ein Blick auf die Bevölkerungsprognosen der UN (mittlere Variante, siehe Abbildung 1) und die Potenziale zur Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion der FAO suggerieren, dass auch ein Schreckensszenario à la Paul Ehrlich oder Lester Brown sich in naher Zukunft kaum bewahrheiten sollte. Die Weltbevölkerung wird den UN Prognosen [5] zufolge zwar weiter wachsen, allerdings deutlich langsamer. Bis zum Jahr 2050 sollte die Weltbevölkerung etwa 9,2 Milliarden Menschen erreichen. Damit würde auch künftig das Bevölkerungswachstum deutlich unter den Wachstumsraten der Agrarproduktion liegen und eine weitere Verbesserung der Versorgungslage bis 2050 erwarten lassen. Ein Blick über dieses Datum hinaus suggeriert sogar, dass die Weltbevölkerung bis ca. 2080 ganz zum Erliegen kommen und danach sogar schrumpfen könnte.

Dass dennoch ca. 870 Millionen Menschen chronisch unterernährt sind, noch immer 2,3 Milliarden Menschen in Ländern mit weniger als 2.500 kcal pro Tag leben und noch immer 500 Millionen Menschen in Länder mit weniger als 2.000 kcal pro Tag leben, ist in erster Linie ein Armutsproblem. Interessanterweise sind die Ursachen dieser Armut wiederum oft in der Landwirtschaft zu suchen. Rund 75% aller Armen leben in ländlichen Gebieten und die Lebengrundlage der allermeisten dieser Armen hängt direkt (als Kleinbauern) oder indirekt (als landlose Landarbeiter) von der Landwirtschaft ab. Diese Menschen sind oft in einer sogenannten Armutsfalle („poverty trap“) gefangen, aus der sie sich, angewiesen auf unzureichende oder unproduktive landwirtschaftliche Ressourcen<sup>1</sup>, nicht befreien können. Daher kommt der Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktivität eine zentrale Rolle in der Armutsbekämpfung zu, nicht oder nicht so sehr als direkte Nahrungsquelle, sondern vielmehr als Einkommensquelle und als Möglichkeit den Zugang zu Nahrungsmitteln zu verbessern.

## **2 Die wichtigsten Annahmen: Die voraussichtliche Bevölkerungs- und Einkommensentwicklung**

Der Ausblick der FAO auf die globalen Agrarmärkte beruht, wie viele Prognosen dieser Art, auf bestimmten Annahmen zu exogenen Bestimmungsgründen. Nur die wichtigsten können hier vorgestellt werden.

### **2.1 Das Bevölkerungswachstum**

Die wohl wichtigste exogene Bestimmungsgröße stellen die Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung dar, die im Wesentlichen auf der Arbeit der UN Bevölkerungsabteilung beruhen [5]. Für den Ausblick bis 2050 sehen diese eine weitere Verlangsamung des globalen

---

<sup>1</sup> Neben dem unzureichenden Zugang zu landwirtschaftlichen Ressourcen entstehen Armutsfällen auch durch unzureichenden Zugang zu anderen Ressourcen, zu Infrastruktur, mangelnden Zugang zu Bezugs- und Absatzmärkten, zu Krediten, oder zu formalen Rechten einschließlich wichtiger Land- und Eigentumsrechte.

Bevölkerungswachstums vor. Der erwartete Rückgang des durchschnittlichen Wachstum über die nächsten 44 Jahre, d.h. vom Basisjahr dieser Prognosen (2005/07) bis zum Jahr 2050, wird mit ca. 0,75 % p.a. weniger als die Hälfte des Wachstum der letzten 44 Jahre betragen (1,7 %). Allerdings übertüncht die Verlangsamung des Bevölkerungswachstums auf globaler Ebene beachtliche Unterschiede in den einzelnen Ländern und Regionen. Besonders bedenkenswert dabei ist, dass das höchste Bevölkerungswachstum gerade in den Ländern erwartet wird, die bereits heute unter hohen Raten an Mangelernährung leiden. Die meisten dieser Länder liegen in Afrika südlich der Sahara. Für diese Region wird bis 2050 eine Bevölkerungswachstumsrate von 1,9 % p.a. erwartet. Das ist zwar wiederum deutlich niedriger als in der Vergangenheit (2,8 % p.a.), aber insgesamt immer noch eine recht dynamische Entwicklung.

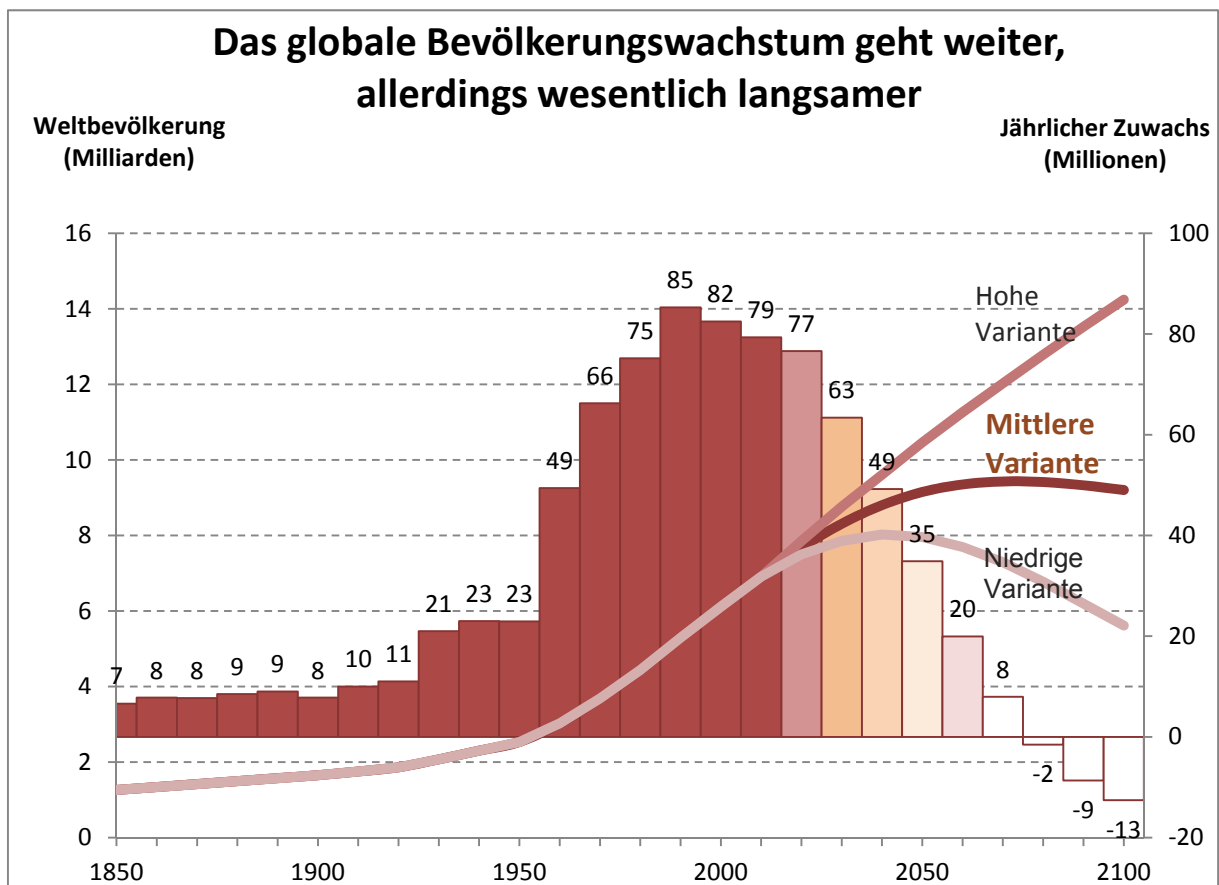


Abbildung 1: Rück- und Ausblick auf die Entwicklung der Weltbevölkerung

## 2.2 Das globale Einkommenswachstum

Was den Ausblick auf die globale Einkommensentwicklung anbelangt, so liegen den Prognosen der FAO im Wesentlichen die Voraussagen der Weltbank [6] zugrunde. Genauso wie bei der Bevölkerungsentwicklung sind Prognosen über einen so langen Zeitraum hinweg immer mit enormen Unsicherheiten verbunden. Danach werden sich die Realeinkommen in den Entwicklungsländern nochmals deutlich erhöhen und auch die Einkommenssteigerungen in den Industrieländern erscheinen beachtlich (Abbildung 2). Insgesamt mögen diese Prognosen sehr optimistisch erscheinen; dennoch gehen sie von einer

deutlichen Abschwächung des globalen Wachstums aus. Auch unterscheiden sich die Prognosen der Weltbank im Wesentlichen nicht von anderen Prognosen wie z.B. denen des IWF oder denen privater Institute (Global Insight).

Neben den Steigerungen in den absoluten Niveaus erwartet die Weltbank, dass sich die *relativen* Einkommensunterschiede zwischen den Ländern langsam angleichen werden<sup>2</sup>. Der erwartete Aufholprozess ist stark genug, dass viele der Länder, die heute noch als "Entwicklungsländer" eingestuft werden, künftig nicht mehr dieser Gruppe angehören würden. Allerdings ist die erwartete Konvergenz zwischen den Ländern nicht groß genug, um auch die absoluten Abstände zwischen armen und reichen Ländern zu vermindern. Im Gegenteil, absolut betrachtet sollten sich voraussichtlich Einkommensunterschiede zwischen den Ländern noch weiter vergrößern (Abbildung 2).

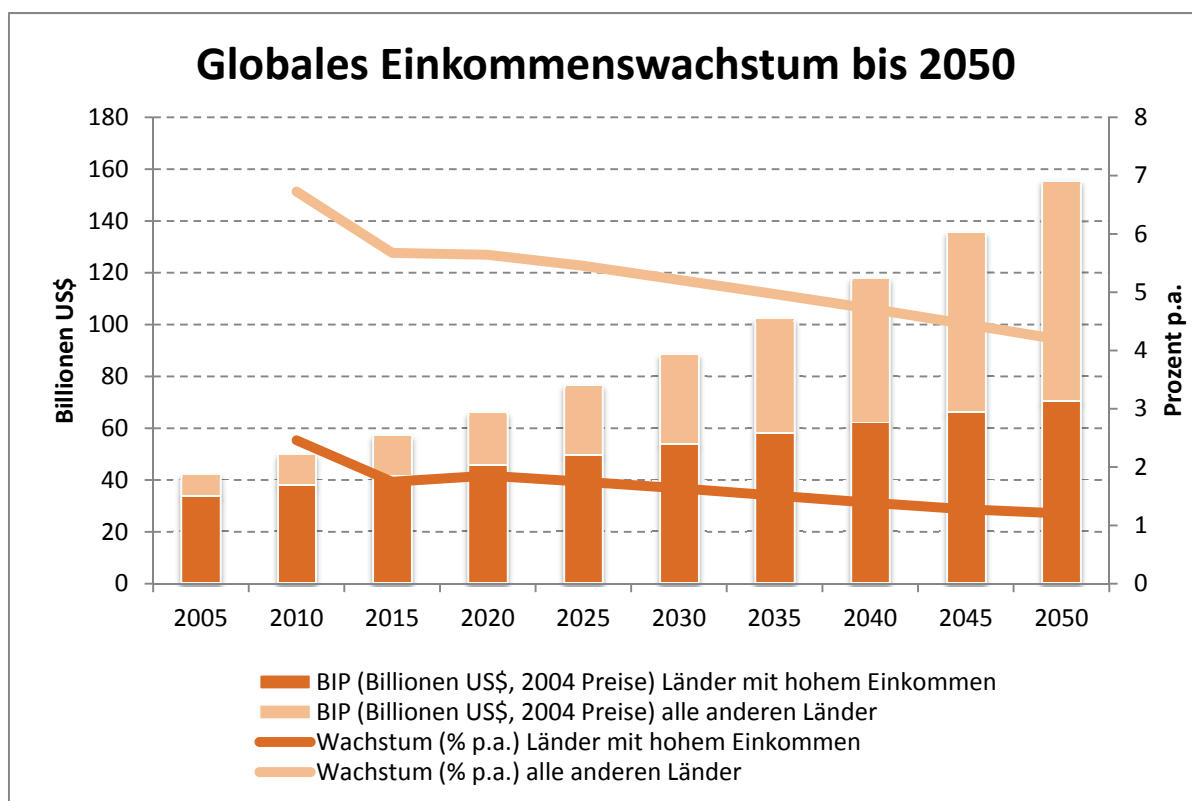


Abbildung 2: Einkommensniveaus und -wachstumsraten in Industrie- und Entwicklungsländern

### 3 Die wichtigsten Ergebnisse

Nach der Vorstellung der wichtigsten Annahmen sollen im folgenden Abschnitt die wichtigsten Ergebnisse der Prognosen vorgestellt werden. Wie bereits erwähnt, stehen alle Details in: „World agriculture towards 2030/2050, the 2012 Revision“ zur Verfügung.

<sup>2</sup> Auch wenn die BSP Prognosen sehr optimistisch erscheinen, so rangieren sie doch am unteren Ende der Skala der Einkommensprognosen insgesamt.

### 3.1 Das erwartete Verbrauchswachstum

Unter Berücksichtigung der vorgestellten Prognosen zum Bevölkerungs- und Einkommenswachstum und vieler anderer, hier nicht beschriebener Annahmen, wird für den Zeitraum von 2005/07 bis 2050 ein Anstieg der globalen Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten um voraussichtlich 1,1 % p.a. [1] erwartet. Das käme zwar einer Halbierung des Wachstums gleich, verglichen mit den letzten vier Dekaden, stellt aber insgesamt immer noch eine Erhöhung um 60 % dar. Die Verlangsamung des Wachstums spiegelt vor allem die Verlangsamung des Bevölkerungswachstums bei einer gleichzeitigen und zunehmenden Sättigung in der Kalorienversorgung wider.

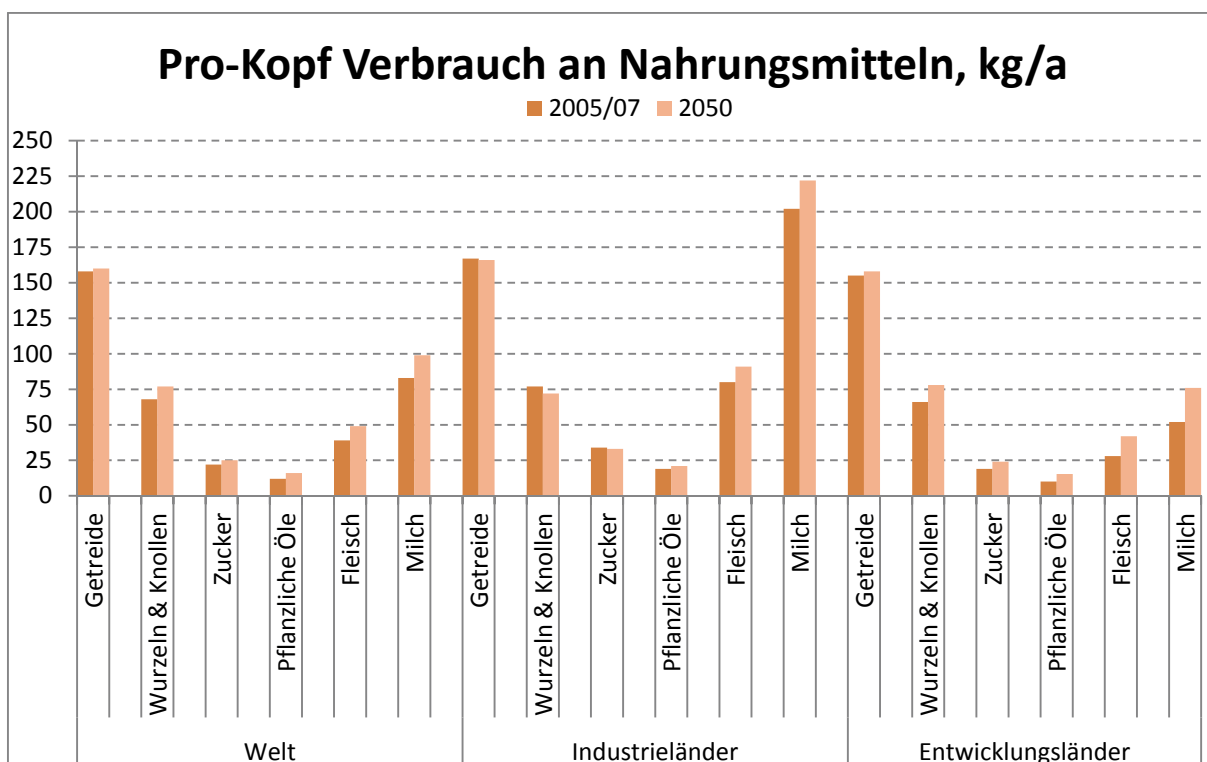


Abbildung 3: Prokopfverbrauch an Nahrungsmitteln für wichtige Produktgruppen

Diese Verlangsamung des Wachstums kann auch durch die erwartete Fortsetzung der Änderung der Verzehrsgewohnheiten nicht wettgemacht werden. Dabei wird prognostiziert, dass es in den ärmsten Ländern zu einer weiteren Umschichtung der Ernährung weg von Knollen- und Wurzelfrüchten hin zu Getreide und Getreideprodukten kommt, in den Ländern mit mittlerem Einkommen setzt sich die Umschichtung von Getreide hin zu mehr pflanzlichen Ölen und tierischen Produkten fort während in den reichen Ländern eine vollkommene Sättigung einschließlich der Tendenz zum Überkonsum und der zunehmenden Verschwendung von Nahrungsmitteln erfolgt [7]. Allerdings werden nicht alle Länder im gleichen Maß von dieser Ernährungstransformation betroffen sein. Für die Entwicklungsländer insgesamt wird zwar mit einer Fortsetzung hin zu mehr Konsum an tierischen Produkten gerechnet, das Potenzial der Umstellung in den Ernährungsgewohnheiten wird aber als eher begrenzt angesehen (siehe Abbildung 3).

Dabei spielen die Entwicklungen in den bevölkerungsreichsten Ländern eine große Rolle. China zum Beispiel hat bereits heute ein Verzehriveau bei tierischen Produkten erreicht,

das auch bei kräftigem Einkommenswachstum nur wenig Spielraum für weitere Steigerungen erwarten lässt. In Indien dagegen werden aufgrund von religiösen und kulturellen Gründen wohl auch in Zukunft kaum höhere Niveaus erreicht werden, auch wenn aufgrund des niedrigen Ausgangsniveaus und des erwarteten Einkommenswachstums ein großes Aufholpotenzial im Fleischverzehr gegeben wäre. Nachfragepotenzial besteht dagegen noch im ostasiatischen Raum sowie in Teilen Südamerikas und der Karibik. In anderen Teilen der Welt wird das Wachstumspotenzial dagegen noch geringer sein, insbesondere dort wo bereits heute das Bevölkerungswachstum negativ ist, also in großen Teilen Europas und den Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion. Dort ist sogar mit einer Abnahme des Gesamtverbrauchs zu rechnen, die umso stärker ausfällt, je weiter man in die Zukunft blickt.

### **3.2 Die Produktionsentwicklung: 60 % mehr bis 2050**

Da sich auf globaler Ebene Verbrauch und Produktion auch in Zukunft die Waage halten werden, wird erwartet, dass sich einhergehend mit der Verlangsamung des Verbrauchs auch das Produktionswachstum deutlich verlangsamen wird und zwar auf 1,1 % p.a. bis 2050. Das bedeutet, dass die Weltlandwirtschaft im Aggregat bis 2050 ca. 60 % mehr produzieren wird respektive produzieren muss, um das effektive Nachfragewachstum zu decken. Wie so oft verstecken sich hinter den globalen Durchschnittswerten auch hier sehr große regionale und produktspezifische Unterschiede. Die Getreideproduktion zum Beispiel wird nur noch um ca. 0,9 % p.a. wachsen, nach 1,9 % in der Vergleichsperiode. Absolut betrachtet sind das aber immerhin noch 940 Millionen Tonnen Getreide mehr pro Jahr [1] und in Anbetracht der begrenzten und bereits heute gestressten Ressourcenbasis eine immer noch beachtliche Herausforderung.

Die regionale Ressourcenknappheit (Land und Wasser) ist auch heute schon eine wichtige Triebfeder für globale Agrarhandelsströme. Mit einer sich verstärkenden regionalen Knappheit werden künftig noch höhere Handelsströme erwartet um die Unterschiede in der Ressourcenverfügbarkeit zu kompensieren. So wird zum Beispiel erwartet, dass sich der Getreideimportbedarf der Entwicklungsländer bis 2050 auf 200 Millionen Tonnen erhöhen und damit fast verdoppeln wird (Abbildung 4). Insbesondere die Region Nordafrika/Naherosten, die bereits heute am stärksten von Agrarimporten abhängt, wird noch mehr Getreide importieren müssen, um die regionale Wasser- und Landknappheit auszugleichen. Daraus ergeben sich natürlich auch neue Exportchancen, sowohl für die traditionellen Exporteure wie die USA, Argentinien, Kanada, die EU oder Australien aber auch für neue Handelspartner, wozu insbesondere einige Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion (Russland, Ukraine, Kasachstan) gehören sollten.

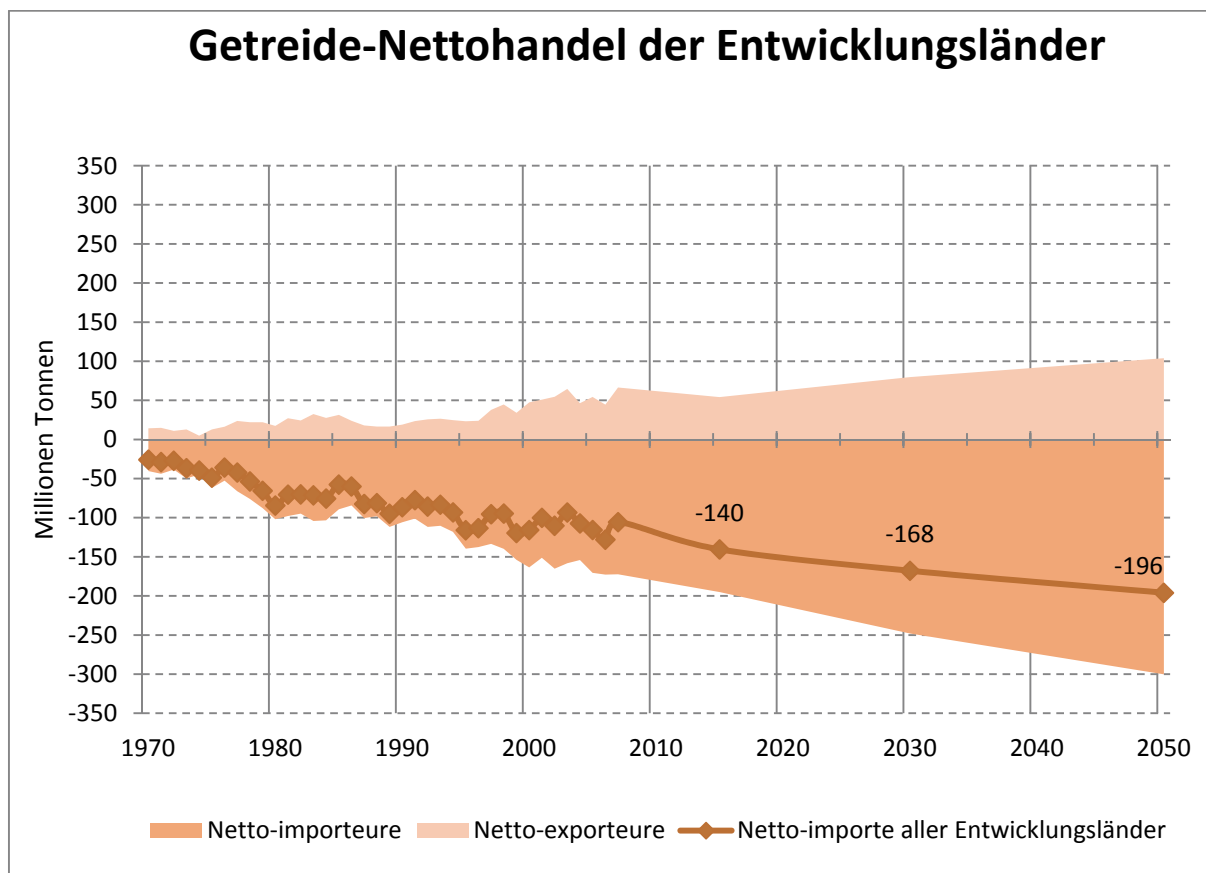


Abbildung 4: Nettoimporte der Entwicklungsländer in Millionen Tonnen

## 4 Reichen die natürlichen Ressourcen?

Ebenso wie bei der Vorstellung des Ausblicks auf Produktion und Verbrauch kann auch hier nur ein Ausblick in groben Umrissen präsentiert werden. Die Analyse beschränkt sich im Wesentlichen auf die Ressource Land und die darauf vorhandenen Ertragspotenziale. Eine der wichtigsten Aussagen, die vorab getroffen werden kann, ist, dass die globalen Ressourcen durchaus ausreichend sind um Nahrungsmittel in ausreichendem Maß für eine wachsende Weltbevölkerung bereitzustellen. Diese Aussage müsste nur relativiert werden für eine Zukunft in der die natürlichen Ressourcen nicht nur für die Nahrungsmittelproduktion reichen sollen, sondern gleichzeitig auch einen signifikanten Anteil an der Energienachfrage decken helfen müssen (siehe Abschnitt 5 dieses Papiers).

### 4.1 Ackerland

Die Schätzungen auf Basis der globalen agrar-ökologischen Datenbank (GAEZ) der FAO und des IIASA suggerieren [8], dass es global durchaus genügend Flächen gibt, die sich potenziell als Ackerland nutzen lassen. Demnach verfügt die Welt insgesamt über 7,2 Milliarden ha potenziell nutzbare Ackerflächen, von denen momentan knapp 1,6 Milliarden ha tatsächlich als solche genutzt werden. Diese Flächen schließen alle bewässerten Flächen mit ein. Mit eingeschlossen ist auch eine Fläche von 75 Millionen ha, die im GAEZ System als nicht nutzbar klassifiziert worden ist, tatsächlich aber als Ackerland genutzt wird. Damit bleibt eine Fläche von 5,7 Milliarden ha, die allerdings keineswegs direkt und im vollen Umfang zur Nutzung zur Verfügung steht. 2,8 Milliarden ha davon sind gegen-



wärtig bewaldet oder in geschützten Gebieten. Damit verbleiben 2,9 Milliarden ha von denen wiederum 1,5 Milliarden von nur minderer Qualität sind. Der Rest sind immer noch 1,4 Milliarden ha potenzieller Ackerflächen, die nicht bewaldet, von guter bis sehr guter Qualität sind und durchaus in die Nutzung gebracht werden könnten [1] (Abbildung 5).

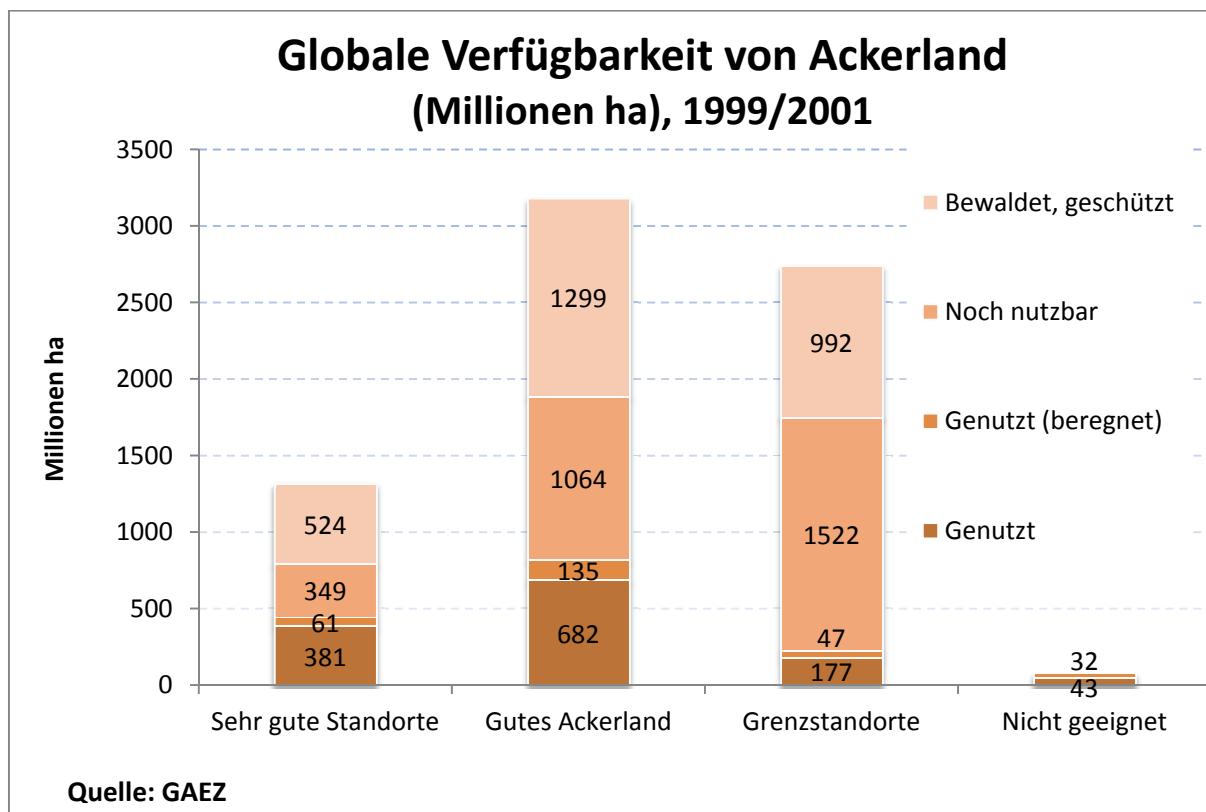


Abbildung 5: Globale Flächenverfügbarkeit für den Feldfruchtbau ohne Bewässerung

Verglichen mit dem riesigen Potenzial von 1,4 Milliarden ha ist die Fläche, die nach Schätzungen der FAO tatsächlich in die Produktion kommen wird mit 70 Millionen ha denkbar gering. Diese geringe Flächenausdehnung in der Zukunft ist vollkommen konsistent mit der Entwicklung der Vergangenheit. Die wichtigsten Gründe für die geringe Flächenausdehnung waren und sind wirtschaftlicher Natur. Produktivitätssteigerungen, also die Erhöhung der Erträge und die Steigerung der Flächennutzungsintensität (Erhöhung der Ernten pro Jahr) erlauben es - zu wesentlich geringeren Grenzkosten - Produktionssteigerungen umzusetzen. Die Entwicklung der für die Flächenausdehnung notwendigen Infrastruktur ist in fast allen Ländern weitaus teurer als die Intensivierung vorhandener Anbauflächen. Darüber hinaus sind die noch brachliegenden Flächen auf ganz wenige Länder begrenzt (60 % in nur 13 Ländern), in denen häufig nicht nur die Infrastruktur sondern auch Know-how und politischer Wille fehlen, um zusätzliche Flächen in die Produktion zu nehmen. Aus ökologischer Sicht sind die hohen Kosten der Flächenausdehnung ein Segen. Mit der Umwidmung von Grünland und bewaldeten Flächen gehen regelmäßig Verluste an Biodiversität, Störungen des Wasserhaushalts oder allem voran hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen einher. Umwelt- und klimafreundliche Landwirtschaft ist damit auch auf Ertragssteigerungen angewiesen. Das eröffnet die Frage nach der nächsten Ressource, den noch vorhandenen Ertragspotenzialen.

## 4.2 Ertragspotenziale

Eine Analyse länderspezifischer Ertragsniveaus zeigt, dass es für fast sämtliche Ackerfrüchte große länderspezifische Unterschiede in den derzeit erzielten Erträgen gibt. Besonders groß sind die Unterschiede zwischen Entwicklungsländern und Industrieländern. Zum Beispiel liegt der Durchschnittsertrag bei Körnermais in den besten 10 % der Länder bei 7,5 t/ha, während er in den schlechtesten 10 % der Länder nur bei ca. 1 t/ha liegt. Diese Ertragsunterschiede sind aber nicht gleichbedeutend mit entsprechend hohen und überbrückbaren Ertragslücken. Häufig sind diese hohen Ertragsunterschiede durch unterschiedliche agro-ökologische Voraussetzungen bedingt und damit nicht zu schließen. Wirklich relevant für die künftige Entwicklung sind lediglich die überbrückbaren Ertragslücken, also die Ertragsunterschiede, die nicht auf unterschiedliche agrar-ökologische Faktoren zurückzuführen sind. Genau diese kann man über die GAEZ Datenbank ermitteln, indem man Erträge vergleicht, die auf Flächen mit identischen oder zumindest vergleichbaren agrar-ökologischen Bedingungen erzielt werden. Dies sind Erträge, die im selben oder in unterschiedlichen Ländern bei gleichen Umweltbedingungen erzielt werden (für Weizen in Abbildung 6 dargestellt).

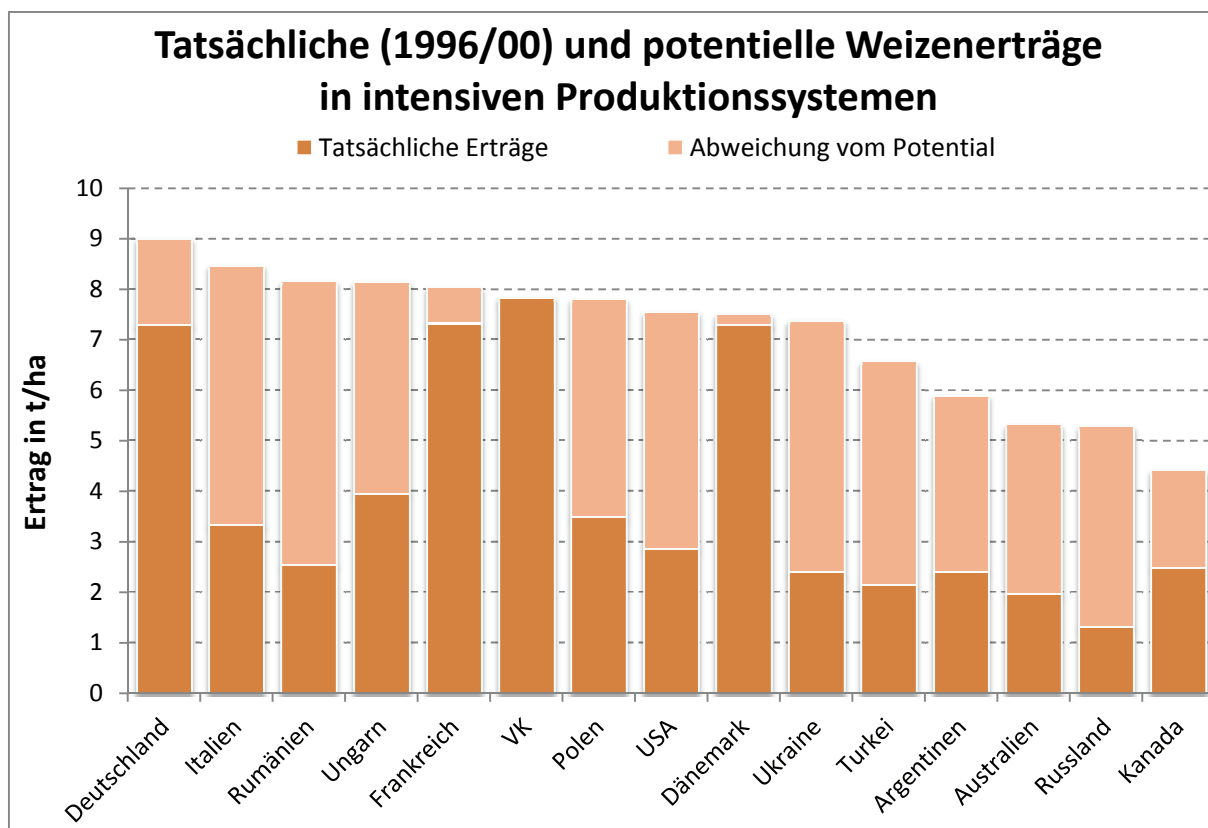


Abbildung 6: Tatsächliche Erträge und überbrückbare Ertragspotenziale für Weizen in t/ha

Die Unterschiede bei gleichen Anbaubedingungen lassen sich auf Faktoren wie unterschiedliche Infrastruktur, Vorleistungs- und Absatzpreise, oder unterschiedliche Fähigkeiten der Betriebsleiter zurückführen. Diese Ertragslücken können geschlossen werden, sofern diese überbrückbaren Faktoren angeglichen werden. Dies kann erfolgen über Investitionen in die Infrastruktur, die Ausbildung der Betriebsleiter oder eine bessere Marktanbindung. Die in Abbildung 6 dargestellten überbrückbaren Ertragslücken sind nicht nur ganz erheblich sie sind ähnlich hoch für andere Ackerfrüchte und lassen vermuten, dass

die vorhandenen Ertragspotenziale für die Ernährung weiterer 2,2 Milliarden Menschen bis zum Jahr 2050 ausreichen sollten.

## 5 Bioenergie und die globalen Energiemärkte

Der bislang vorgestellte Ausblick hat sich im Wesentlichen auf einen Ausblick für die Nahrungsmittelproduktion beschränkt, einschließlich des Bedarfs an Tierfutter oder anderen agrarischen Rohstoffen wie Baumwolle oder Jute. Der künftige Bedarf an Bioenergie wurde nur insofern einbezogen, als es die Politikmaßnahmen vorgesehen haben, die zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Prognosen bekannt waren. Im Wesentlichen war damit nur die Verwendung, die momentan durch Subventionen oder Beimischungszwänge gefördert wird, abgedeckt.

Nicht einbezogen ist damit die Verwendung von Agrarrohstoffen für Bioenergie oder andere Verwendungszwecke (Schmiermittel, Farben, Waschmittel), die durch höhere Energiepreise auch ohne Subventionen aus der landwirtschaftlichen Produktion abgezogen werden könnten und damit nicht mehr als Nahrungsmittel zur Verfügung stehen würden. Die Realisierung dieses Potenzials hängt unmittelbar von künftigen Energiepreisen ab und ist daher nur sehr schwer abzuschätzen. Die potenzielle Bedeutung und die Auswirkungen auf die künftigen Agrarmärkte macht es aber notwendig, diese abschließend kurz abzugrenzen.

Am besten erfolgt eine Potenzialabschätzung über einen Vergleich der Größe der beiden Märkte. Der Energiemarkt hat gegenwärtig ein Gesamtvolumen von ca. 500 Exajoule (EJ)<sup>3</sup> pro Jahr. Ca. 100 EJ davon werden im Transportsektor verbraucht. Ca. 3 EJ stammen aus modernen Biotreibstoffen, wofür die Landwirtschaft derzeit etwas mehr als 30 Millionen ha verbraucht. Damit müsste man, bei gegenwärtiger Konversionseffizienz, Flächenerträgen und Zusammensetzung der Agrarrohstoffe (Mais, Zuckerrohr, Palmöl) alleine für die Deckung der Transportenergie ca. 1.000 Millionen ha oder 2/3 der globalen Ackerfläche einsetzen. Dies ist eine Fläche, die der gesamten gegenwärtig genutzten Ackerfläche der Entwicklungsländer entspricht. Dieser Vergleich zeigt, dass der Energiemarkt im Vergleich zum Nahrungsmittelmarkt groß ist und potenziell hohe Volumina an Agrarrohstoffen und damit an landwirtschaftlichen Ressourcen (Land, Ertragspotenziale, Wasser, Biodiversität) abziehen könnte.

### 5.1 Die Verbindung zwischen Energie- und Agrarmärkten

Wie groß der Einfluss wirklich sein wird, hängt, wie angedeutet, von der Wirtschaftlichkeit der Bioenergieproduktion ab. Diese wiederum wird über die Subventionen und Beimischungszwänge hinaus, im Wesentlichen von der Höhe der Energiepreise bestimmt. Bei ausreichend hohen Energiepreisen qualifizieren sich heute schon immer größere Mengen an Agrarrohstoffen für die Bioenergieerzeugung. Diese Nachfrage bestimmt bereits heute die Preise für die wichtigsten Rohstoffe zur Produktion von Biotreibstoffen, also für Mais und pflanzliche Öle (Abbildung 7).

---

<sup>3</sup> 1 Exajoule=10<sup>18</sup> Joule. 500 EJ beziehen sich auf das globale TPES, "Total Primary Energy Supply"

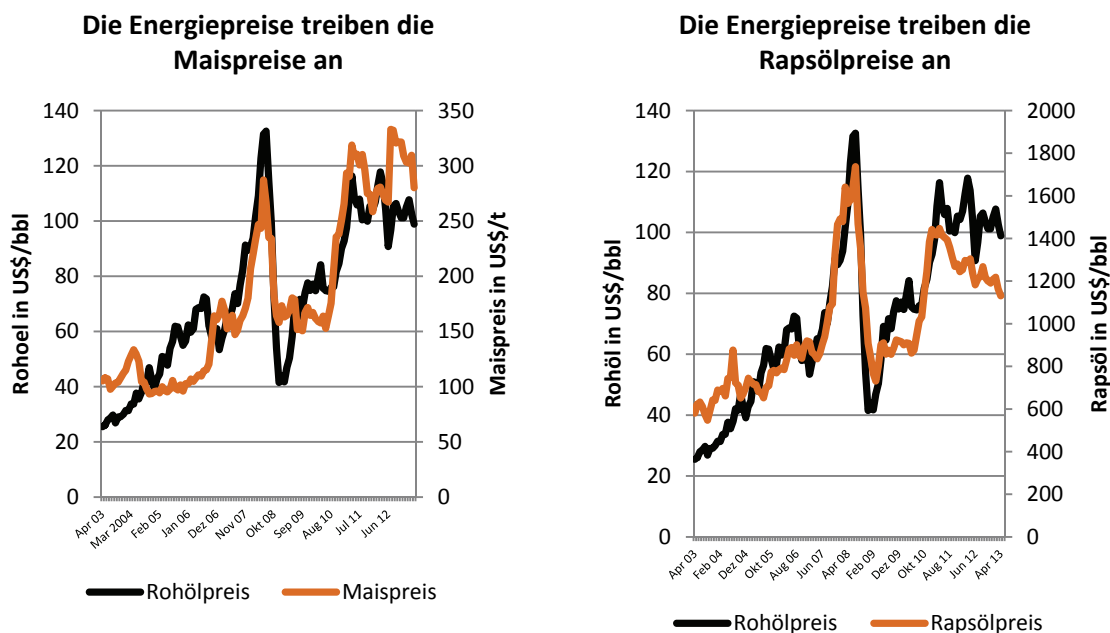


Abbildung 7: Die Preise für Mais und pflanzliche Öle folgen immer mehr den Energiepreisen

Da der Energiemarkt groß ist im Vergleich zum Agrarmarkt, wird bei hohen Energiepreisen auch eine zunehmende Menge an Agrarprodukten abgezogen werden, ohne dass dabei der Energiepreis selbst beeinflusst wird. Ganz im Gegensatz dazu entsteht im relativ kleinen Agrarmarkt (vollkommen elastische) Nachfrage nach Agrarrohstoffen zumindest solange, bis sich die Agrarpreise ihrem Paritätspreisniveau angenähert haben. Die Folge daraus ist, dass die Energiepreise ein Mindestpreisniveau für Agrar- und Nahrungsmittel schaffen. Erst wenn Agrarrohstoffe zu teuer werden, nimmt die Nachfrage nach diesen aus dem potenziell riesigen Energiemarkt wieder ab. Daraus ergibt sich bereits heute eine Parallelentwicklung von Energie- und Agrarpreisen, die an den Beispielen Mais und Rapsöl in Abbildung 7 exemplarisch dargestellt ist. Die Auswirkungen hoher Energiepreise auf die Zukunft der Weltlandwirtschaft und der Welternährung sind somit möglicherweise gravierend. Hohe Energiepreise werden zwangsläufig zu hohen Nahrungsmittelpreisen führen und eine Produktionssteigerung in der Landwirtschaft wird weder die Agrarpreise noch die Energiepreise deutlich beeinflussen können [9]. Das bedeutet auch, dass die Konkurrenz zwischen „Teller und Tank“ eine sehr reelle ist und eine zusätzliche Förderung der Verwendung von Agrarrohstoffen im Energiesektor auf Kosten der Ernährungssicherung gehen kann.

## 5.2 Agrarforschung unter neuen Vorzeichen: „Cochrane<sup>4</sup> vs. Jevons<sup>5</sup>“

Die Tatsache, dass Agrarrohstoffe sich für den ökonomisch großen Energiemarkt qualifizieren, kann nicht nur Ernährungssicherung und Ressourcen gefährden. Sie verlangt möglicherweise auch ein Umdenken in den Politikmaßnahmen, die bislang Anwendung gefunden haben, um Probleme wie Ressourcenknappheit oder Ernährungssicherung anzugehen. Zum Beispiel wurde die Förderung der Agrarforschung bislang immer auch mit der ressourcenschonenden Wirkung solcher Investitionen gerechtfertigt. Hier stellt sich die Frage, ob und inwieweit sich die These der ressourcenschonenden Wirkung der Agrarforschung und des technischen Fortschritts bei einer zunehmenden Verflechtung von Energie- und Agrarmarkt aufrechterhalten lässt.

Die Größe des Energiemarktes hat in der Tat das Potenzial, das bislang vorherrschende Paradigma der Förderung des Angebots zur Ressourcenschonung und Ernährungssicherung („*Cochrane Paradigm*“ mit einer schnellen Verschiebung der Angebotskurven nach rechts z.B. durch die Förderung des technischen Fortschritts) in Frage zu stellen. In der Tat, permanent hohe Energiepreise und die Förderung von Agrarrohstoffen für die Energieerzeugung würden eine Marktsituation entstehen lassen, in der technischer Fortschritt und Politikmaßnahmen zu dessen Förderung ressourcenzerstörend wirken. Eine solche Situation wurde bereits im 19. Jahrhundert von *William Stanley Jevons* beschrieben und ist seither als Jevons Paradoxon bekannt.

Was bedeutet dies konkret für die Energie und Agrarmärkte und die Auswirkungen von Politikmaßnahmen, die eine effizientere Nutzung von Ressourcen ermöglichen? Genauso wie die Erfindung effizienterer Öfen im 19. Jahrhundert des Vereinigten Königreichs aufgrund der hohen Nachfrageelastizität nicht zu einer Verringerung der Kohlenutzung sondern zu einer massiven Ausdehnung führte, könnte auch die Förderung des technischen Fortschritts einschließlich der Agrarforschung und der Züchtung besserer Sorten dazu führen, dass sich mehr Flächen für die Produktion von Agrarrohstoffen qualifizieren ohne das Nachfragevolumen selbst reduzieren zu können. Die Agrarforschung und ihre Anwendung führt damit dazu, dass mehr und nicht weniger Ressourcen (Ackerland, Wasser, Ertragspotenzial) in die Produktion genommen werden. Die politische Schlussfolgerung aus einem solchen Szenario sollte allerdings nicht sein, weniger Fördermittel in die Agrarforschung zustecken, sondern vielmehr die Verwendung von Agrarrohstoffen für den Energiemarkt zu begrenzen. Die externen Nachteile einer „Jevonswelt“ (Ressourcenzerstörung, Gefährdung der Ernährungssicherung) würden solche Interventionen rechtfertigen.

---

<sup>4</sup> Das „Cochrane paradigm“ ist benannt nach *Willard Cochrane*, dem ehemaligen Chefökonom des USDA und Professor für Agrarökonomie an der Universität von Minnesota.

<sup>5</sup> Das „Jevons Paradox“ ist benannt nach dem englischen Ökonom *William Stanley Jevons* der bereits 1865 postuliert hat, dass Effizienzgewinne bei der Nutzung einer Ressource bei elastischer Nachfrage ( $>|1|$ ) zu einem **Anstieg** des Verbrauchs dieser Ressource führen können.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Alexandratos, N.; Bruinsma, J. (2012): *World agriculture towards 2030/2050, the 2012Revision*“, [http://typo3.fao.org/fileadmin/templates/esa/Global\\_persepctives/world\\_ag\\_2030\\_50\\_2012\\_rev.pdf](http://typo3.fao.org/fileadmin/templates/esa/Global_persepctives/world_ag_2030_50_2012_rev.pdf)
- [2] Ehrlich, P. R. (1968): *The Population Bomb*. Ballantine Books
- [3] Meadows, D. (1974): *The Limits to Growth, Second Edition Revised*, Signet. ISBN 73-187907
- [4] Brown, L. R. (1995): *Who Will Feed China?: Wake-Up Call for a Small Planet*
- [5] United Nations (2009): *World Population Prospects: The 2008 Revision*.
- [6] van der Mensbrugge, D.; Osorio-Rodarte, I.; Burns, A.; Baffes, J. (2011): *Macroeconomic Environment and Commodity Markets: A Longer Term Outlook*, paper for Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, FAO, Rome, 24-26 June 2009, Chapter 5 in Conforti, P., ed. 2011.
- [7] Schmidhuber, J.; Shetty, P. (2005): *The Nutrition Transition to 2030, Why Developing Countries Are Likely to Bear the Major Burden*, Plenary paper presented at the 97th Seminar of the European Association of Agricultural Economists, University of Reading, England, 21-22 April, 2005. (<http://www.fao.org/es/esd/gstudies.htm>).
- [8] Fischer, G.; van Velthuisen, H.; Shah, M.; Nachtergaele, F. (2002): *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and results*. RR-02-002, IIASA, Laxenburg and FAO, Rome. <http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/SAEZ/pdf/gaez2002.pdf>.
- [9] Schmidhuber, J. (2006): *Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective*, paper presented at the “International Symposium of Notre Europe”, Paris, 27-29 November 2006 (<http://www.fao.org/docrep/014/i2280e/i2280e08.pdf>).

---

# Die Bedeutung der angewandten Systemforschung im Agrarbereich

Friedhelm Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,  
Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel  
ftaube@email.uni-kiel.de

## Zusammenfassung

Das Leitbild der Landwirtschaft hat sich in den letzten 50 Jahren dramatisch verändert. Bis in die 1980er Jahre stand allein die Produktionsfunktion im Zentrum, nachdem seit den 1950er Jahren in Verbindung mit Forschung und Beratung erhebliche Produktionssteigerungen erreicht wurden. Diese Produktionssteigerungen gingen einher mit einem überproportional steigenden Betriebsmitteleinsatz, was in der Konsequenz gleichermaßen zu Überschüssen an Agrarrohstoffen und Umweltproblemen führte. Als Reaktion darauf wurden Politiken in Richtung Extensivierung entwickelt (z.B. obligatorische Flächenstilllegung), die ihrerseits seit Beginn des neuen Jahrhunderts hinterfragt werden, da Agrarrohstoffe weltweit zunehmend zu knappen Gütern werden. Daraus resultiert ein neues Leitbild der „ökologischen Intensivierung“, welches auf eine optimierte Ressourceneffizienz zielt, um das Zielbündel aus der Produktion von Agrarrohstoffen und dem Schutz abiotischer und biotischer Ressourcen (Wasser, Klima, Biodiversität) regionalspezifisch optimalen Lösungen zuzuführen. Zusätzlich sind zunehmend weitere gesellschaftliche Ziele wie Tierwohl und Verbraucherpräferenzen in diese Lösungen einzubeziehen. Ein solches umfassendes Zielbündel stellt neue Anforderungen an die Agrarforschung, die nicht mehr allein mit Optimierungen innerhalb eines Produktionssystems befriedigt werden können, sondern die bestehenden Systeme hinterfragen müssen, um daraus neue Systemansätze zu entwickeln. Am Beispiel der Milcherzeugung werden die Grundlinien innovativer angewandter Systemforschungsansätze skizziert und es wird aufgezeigt, dass diese Ansätze nur durch ein hohes Maß an Interdisziplinarität und intensive Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstitutionen (Universitäten, Landesanstalten) einer überzeugenden Lösung zugeführt werden können. Angewandte Systemforschung ist somit der Schlüssel zur Entwicklung tragfähiger Agrarproduktionssysteme im Sinne nachhaltiger Intensivierung.

## Summary

The model of agriculture has substantially changed over the last 50 years. With considerable productivity increases being achieved since the 1950s, the focus was primarily on production up to the 1980s. This increase in productivity was accompanied by an overproportionally increasing input of resources, causing surpluses in agricultural commodities as well as in environmental threats. As a result, agricultural policies were developed aiming to extensify agricultural production, e.g. by the compulsory set aside scheme, which in turn are questioned nowadays with agricultural commodities becoming increasingly lim-

ited. This development resulted in the new model of “sustainable intensification”, aiming to increase resource use efficiency in order to find regionally adapted, optimal solutions for agricultural production and the protection of abiotic and biotic resources. In addition, further societal objectives such as animal welfare and consumer preferences have to be considered. Such a set of objectives poses new challenges for agricultural research, which cannot be satisfied with optimizations restricted to single production systems, but rather have to question existing production systems in order to be able to develop new system approaches. Exemplified for milk production, the principles of innovative approaches in systems research are presented, documenting that a high degree of interdisciplinarity and intensive cooperation among research institutions (universities, federal research institutes) are required to develop efficient solutions. Applied systems research is the key factor in developing viable agricultural production systems according to the concept of sustainable intensification.

## **1 Einleitung: „Nachhaltige Intensivierung“ („sustainable intensification“) als Leitbild für angewandte Systemforschung im Agrarbereich**

Über Jahrtausende war das Paradigma der Landwirtschaft geprägt durch den alleinigen Anspruch, den Hunger zu bekämpfen und Agrarrohstoffe (Nahrungs- und Futtermittel, nachwachsende Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Nutzung) in ausreichendem Maße für die Bevölkerung bereit zu stellen. Erst seit den 1950er und 1960er Jahren gelang dies in Deutschland mittels weit überdurchschnittlicher Produktivitätsfortschritte in überzeugender Weise. Bereits zwei bis drei Jahrzehnte später wurde jedoch deutlich, dass diese Produktivitätsfortschritte nicht nur mit zunehmenden Umweltproblemen assoziiert waren, sondern auch zu einer Überflussproblematik bei wesentlichen Agrarrohstoffen in den OECD Staaten führten. Dies führte in Deutschland seit den 1990er Jahren zu einem substanziellen Politik induzierten neuen Paradigma, nämlich der „Ökologisierung der Landwirtschaft“ über Maßnahmen der obligatorischen Flächenstilllegung, der Förderung ökologischer Anbauverfahren und gesetzlicher Regelungen zur Reduktion von Nährstoffüberschüssen („Gülleverordnungen“, Düngeverordnungen, Aufforstungsprogramme). Seit dem ersten Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts sieht sich jedoch die Landwirtschaft und damit auch die landwirtschaftliche Forschung völlig neuen Herausforderungen gegenüber. Die globalisierten Agrarmärkte und wachsende weltweite Nachfragen nach Agrarrohstoffen sind mit nationalen bzw. europäischen Umweltschutzziele und den Bedrohungen des Klimawandels [1] in Einklang zu bringen und dies erfordert wiederum ein neues Paradigma, denn weder alleinige Produktionssteigerung, noch umfangreiche Extensivierung und Flächenstilllegung sind Antworten, die diesen Herausforderungen gerecht werden.

Im Jahr 2009 publizierte die Royal Society, London, ein Grundsatzpapier zu den Herausforderungen für die globale Agrar- und Ernährungsforschung der kommenden Jahrzehnte mit dem Titel „Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture“ [2]. Die Royal Society, die in ihrer Funktion vergleichbar ist mit unserer Deutschen Forschungsgemeinschaft, hat mit diesem Papier eine Zäsur eingeläutet. Nach Jahrzehnten der Vernachlässigung der Agrarwissenschaften an den Universitäten auch und ganz besonders im Vereinigten Königreich, stellt sich eine gesamte nationale Wissenschaftsorganisation den globalen Herausforderungen gleichermaßen zur Sicherung der Welternährung wie zur Sicherung der Ökosystemdienstleistungen der Landnutzung im



globalen Kontext und damit der Verantwortung einer hoch entwickelten Industrienation, einen Beitrag zur globalen Versorgungssicherheit zu leisten. Das Papier betont die Bedeutung des weltweiten freien Handels von Agrarrohstoffen zur globalen Wohlfahrtsstiftung und hebt dabei als Grundsatz der Umweltverträglichkeit der agrarischen Produktion den Begriff der „Ökoeffizienz“ (eco-efficiency) besonders hervor. Darunter ist zu verstehen, dass bestimmte Agrarrohstoffe weltweit dort und jeweils in der Intensität erzeugt werden sollten, wo dies mit den geringsten negativen externen (ökologischen) Effekten je Produkteinheit realisiert werden kann. Negative ökologische Effekte beinhalten insbesondere eine Beeinträchtigung der Biodiversitätsfunktion, der Wasserschutz- und der Klimaschutzfunktion. Daraus resultiert, dass neben den bisher geltenden betriebswirtschaftlichen Kennwerten, entsprechende Kennwerte für Umwelteffekte der Produktion weltweit generiert werden. Eine standardisierte Bewertungsmethodik vorausgesetzt, kann so der ökologische Fußabdruck für jedes relevante Produkt erstellt und bewertet werden. Die Royal Society geht mit ihrem Konzept jedoch deutlich weiter: Neben der nachhaltigen Intensivierung der Produktion wird auch der nachhaltige Konsum und damit die Verantwortung moderner Industrienationen bezüglich der Konsummuster und der Verschwendung von Lebensmitteln adressiert sowie die ethische Dimension der Nahrungsmittelerzeugung als Basis des Konzepts der nachhaltigen Intensivierung hervorgehoben.

Bezüglich der Produktion von Agrarrohstoffen ist „Nachhaltige Intensivierung“ synonym zum Begriff der „Ökologischen Intensivierung“ zu verwenden, „Intensivierung“ ist als Steigerung der Faktorproduktivität bezogen auf die Umweltfaktoren zu definieren. Darüber hinaus ist die globale Skalenebene der Ökoeffizienz zu berücksichtigen, da unter den gegebenen Bedingungen des weltweiten Handels von Agrarrohstoffen, eine Extensivierung an einem gegebenen Standort eine Intensivierung woanders auf der Welt entfalten und somit zu so genannten indirekten Landnutzungswandeleffekten (ILUC) bzw. „leakage-Effekten“ führen kann. Und schließlich wird die Bedeutung der zeitlichen Skalenebene betont, also die Langfristigkeit der Abschätzung von Intensivierungseffekten, welche insbesondere bezüglich der Biodiversitätseffekte von Relevanz sein dürfte, da die Stabilität bzw. Elastizität eines Ökosystems („Resilienz“) in erheblichem Maße durch die Diversität (zwischen und innerhalb Species) auf verschiedenen räumlichen Skalenebenen gesteuert wird.

Daraus kann für die konkrete Agrarproduktion in Deutschland abgeleitet werden, dass klimatische Gunststandorte mit hoher Bodenfruchtbarkeit vergleichsweise hoch intensiv zu bewirtschaften sind, da die Ökoeffizienz in diesem Fall in der Regel hoch ist (z.B. geringe Emissionen je t Weizen im Ackerbau), während diesbezügliche Ungunststandorte (Futterbauregionen) eher bei reduzierten (N-) Intensitäten im Vergleich zum Status quo eine höhere Ökoeffizienz entfalten dürften [3], [4].

## **2. Ist Deutschland auf gutem Wege zur nachhaltigen Intensivierung?**

Diese Frage ist aus zweierlei Blickwinkeln zu betrachten: Zum einen steht die Frage zu Ertragssteigerungen der Kulturpflanzen zur Debatte (Produktionsfunktion), zum anderen die Frage nach der Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen (weitere Ökosystemfunktionen).

### **Ertragssteigerungen im Pflanzenbau**

Bezüglich der Ertragssteigerungen im Pflanzenbau Mitteleuropas ist nach 5 Jahrzehnten nahezu linearer Ertragssteigerungen bei allen wirtschaftlich relevanten Kulturarten in der Größenordnung von mehr als 2 % pro Jahr bis in die 1990er Jahre seitdem eine deutliche kulturartenspezifische Differenzierung notwendig. Während vor allem Mais, Zuckerrüben und Raps weiterhin entsprechende Ertragssteigerungen aufweisen, ist bei den Getreidearten seit mehr als 15 Jahren eine Ertragsstagnation zu beobachten [5], [6].

Während Zuchtfortschritte bezüglich des Merkmals Ertrag in den Zuchtgärten und bei der Sortenzulassung nach wie vor signifikant sind, werden sie auf den Betrieben nicht mehr in dem Maße umgesetzt, wie es bis vor ca. 15 Jahren der Fall war. Als Ursache dafür wird ein ganzes Bündel von Einflussfaktoren diskutiert. So dürften die mangelnden Preisanreize über etliche Jahre die Betriebe zu Kostenreduktionen (Bodenbearbeitung; Pflanzenschutz) animiert haben, die wiederum eine negative Rückkopplung auf die Naturalerträge induzierten. Aber auch eine zunehmend ungünstige Fruchtfolgegestaltung, Bodenverdichtungs- und Klimawandeleffekte dürften bei bereits sehr hohem Ertragsniveau eine zunehmende Rolle für Ertragsunsicherheiten spielen. Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass die Erträge in Mitteleuropa auf sehr hohem Niveau stabil sind und es stellt sich letztendlich die Frage nach der zukünftig richtigen Strategie im Sinne einer nachhaltigen Intensivierung und einer Steigerung der Ökoeffizienz, ob nämlich entweder auf Basis dieses hohen Ertragsniveaus weitere Ertragssteigerungen mit vergleichsweise hohem zusätzlichen Aufwand zu avisieren sind oder ob unter Berücksichtigung der weiteren Ökosystemdienstleistungen der Landwirtschaft das aktuelle Ertragsniveau eher zu halten ist und nicht primär die Produktivität, sondern die Öko-Effizienz über die primäre Reduktion von Emissionen gesteigert werden sollte. Eine Antwort auf diese Strategiefrage kann aus den Zielen der Nachhaltigkeitsstrategie Deutschland im Hinblick auf die Schutzziele jenseits der Produktionsfunktion der Landnutzung abgeleitet werden. Sind die Schutzziele erreicht, ist von einer öko-effizienten Produktion auszugehen und Produktivitätssteigerungen, die möglicherweise gewisse zusätzliche Emissionen verursachen, wären opportun. Sind die Schutzziele dagegen nicht erreicht und werden diese als gesellschaftlicher Konsens ernst genommen, wäre daraus abzuleiten, dass zunächst Effizienzsteigerungen das Mittel der Wahl wären, um primär diese Schutzziele zu realisieren.

### **Nachhaltigkeitsstrategie Deutschland**

Die deutsche Bundesregierung hat im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie [7] Zielwerte formuliert, die der Umsetzung des Biodiversitäts-, Wasser- und Klimaschutz dienen. Die Landwirtschaft betreffend sind dies insbesondere folgende Ziele:

1. Die Senkung der nationalen Stickstoffsalden auf einen Zielwert von maximal +80 kg N/ha bis zum Jahr 2010
2. Die Erfüllung der EU-Wasserrahmenrichtlinie „guter ökologischer Zustand der Gewässer“ bis zum Jahr 2015 bzw. die Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie zur Reduktion der Eutrophierung aquatischer Ökosysteme.
3. Die Umsetzung der Biodiversitätskonvention mit einem Zielwert von 19 % „high nature value (HNV) Flächen“ bis zum Jahr 2015, das heißt, eine entsprechende Ausweitung ökologischer Vorrangflächen.

4. Klimaschutzziele: Direkt sind keine fixen Werte für den Agrarsektor bezüglich des kompletten Bereichs der Klima relevanten Gase formuliert, lediglich die NEC-Richtlinie regelt die maximal zu tolerierenden Ammoniakemissionen auf nationaler Ebene und soll einen Wert von 550 kt/Jahr für Deutschland im Jahr 2010 nicht überschreiten.

Tatsächlich ist für die ersten 3 Zielkomplexe die Zielerreichung unwahrscheinlich bzw. definitiv nicht realisiert. Die nationalen N-Salden sind in den Jahren nach der Wiedervereinigung in Folge der Viehabstockung in den neuen Bundesländern zwar deutlich gesunken, verharren jedoch seit etwa 10 Jahren auf einem Niveau von etwa + 100 kg N/ha/Jahr [8], ohne dass der Zielwert von + 80 kg N/ha/Jahr auch nur annähernd erreicht worden wäre.

Der aktuelle Nitratbericht [9] für Deutschland weist darüber hinaus aus, dass die Nitratwerte im oberflächennahen Grundwasser zwar einen marginal sinkenden Trend aufweisen, die Zielerreichung der EU-Wasserrahmenrichtlinie jedoch nach wie vor als unwahrscheinlich einzustufen ist. Vielmehr verschärfen sich die Unterschiede zwischen viehschwachen Regionen mit weiter sinkenden Nitratwerten im oberflächennahen Grundwasser und viehstarken Regionen, wo diese Werte deutlich ansteigen. Dies bedeutet, für den Bereich Nährstoffnutzungseffizienz und Wasserschutz ist eine Zielerreichung nicht in wünschenswertem Maße gegeben. Laut BMU 2012 ist auch die Zielerreichung im Rahmen der Umsetzung der Biodiversitätskonvention nicht gegeben, vielmehr geht der Verlust an Artenvielfalt unvermindert weiter. Werden beispielsweise Indikatorarten der Avifauna herangezogen, so ist eine Reduktion der Artenvielfalt von durchschnittlich mehr als 40 % seit 1990 zu konstatieren. Und schließlich ist der Zielwert der NEC-Richtlinie zwar erstmals im Jahr 2010 im Zielbereich von 550 kt/Jahr angelangt, aber dennoch ist auch für diesen Bereich keine Entwarnung angemessen, da die Ausdehnung der Bioenergieproduktion (Biogas) und die daraus resultierenden Ammoniakemissionen bei der Gärrestapplikation den abnehmenden Trend konterkarieren könnten und laut Nitratbericht mit einem Anstieg der Ammoniakemissionen über den Zielwert von 550 kt/Jahr hinaus ab 2011 zu rechnen ist.

Zusammenfassend bleibt für den Komplex der Nachhaltigkeitsstrategie Landwirtschaft festzuhalten, dass eine Zielerreichung in wesentlichen Bereichen bisher nicht gegeben ist und Deutschland somit gefordert ist, die Ökoeffizienz nachhaltig zu steigern.

### **3. Grundlinien der angewandten Systemforschung im Agrarbereich**

Die Agrarforschungslandschaft in Deutschland hat sich in den letzten 2 Jahrzehnten nachhaltig verändert. Seit den 1990er Jahren sind die Profile der Agraruniversitäten in Deutschland vor dem Hintergrund einer zunehmenden Internationalisierung der Studiengänge und einer zunehmenden Grundlagenorientierung tendenziell von angewandten Fragestellungen mit einem konkreten Praxisbezug hin zu einem naturwissenschaftlich geprägten Profil mit dem Ziel, ein mechanistisches Verständnis von Prozessen zu erlangen, verschoben worden. Diese Entwicklung ging einher mit dem Abbau von Kapazitäten in produktionsorientierten Fächern mit relevanten Praxisbezügen und dem entsprechenden Aufbau von Kapazitäten zum Beispiel in der molekularbiologischen Forschung. Trotz anderweitiger Bekundungen zum Beispiel seitens der DFG, dass Agrarwissenschaften als Sys-

temwissenschaften zu verstehen seien, die mithin auch Generalisten, also Agronomen im klassischen Sinne, als notwendige Zentralprofessuren erscheinen lassen, geht der Trend der Besetzungen von Lehrstühlen in eine gegenteilige Richtung, nämlich die der Spezialisten, die in einem ausgewählten sehr speziellen Forschungsfeld exzellent ausgewiesen sind. Für die Bereiche Grünlandwissenschaften und Futterkonservierung ist diese Entwicklung besonders evident. Gab es für diesen Bereich 1997 noch 10 Vollprofessuren in Deutschland, sind es heute noch vier, von denen zwei eine zusätzliche Denomination für andere Fachgebiete aufweisen. Die Futterkonservierung ist an keiner deutschen Universität mehr in der Denomination einer Professur erkennbar. Gleichzeitig wurde jedoch auch an den Landesanstalten und Landwirtschaftskammern in den letzten 20 Jahren in erheblichem Maße Personal abgebaut, so dass nicht selten eine kritische Masse für bestimmte Fachgebiete erreicht wurde.

Bayern hat mit der Gründung der LfL vor 10 Jahren eine gewisse Gegenbewegung ausgelöst, indem die Kapazitäten gebündelt wurden, eine exzellente Ressourcenausstattung gewährt wurde und damit eine Institution geschaffen wurde, die das Potential aufweist, die Brücke zwischen der Umsetzung von Grundlagenforschungsergebnissen und der Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis zu schließen.

Angewandte Systemforschung zeichnet sich dadurch aus, dass gleichermaßen i. wissenschaftliche Expertise verschiedener spezieller Fachgebiete transdisziplinär gebündelt wird, dies ii. mit einer Vision von der Landnutzung der Zukunft und damit Kreativität in der konzeptionellen Forschungsprogrammentwicklung verknüpft ist und schließlich iii. die Umsetzung von Forschungsansätzen in die landwirtschaftliche Praxis nicht nur verfolgt, sondern im Hinblick auf Effizienz und Akzeptanz bewertet wird.

Institutionell wird angewandte Systemforschung idealerweise in Kooperationsansätzen zwischen Universitäten und Landesanstalten sichtbar, um so nicht nur die Ressourceneffizienz im Hinblick auf Humankapital und Infrastruktur zu steigern, sondern um mit der Überbrückung der verschiedenen Skalenebenen der Forschung vom Labor über das Versuchsfeld bis zum landwirtschaftlichen Betrieb die Validität, Umsetzbarkeit und Akzeptanz von innovativen Forschungsansätzen zu gewährleisten.

#### **4. Beispiele angewandter Systemforschung aus dem Bereich Futterbau – Milcherzeugung vor dem Hintergrund der „Eiweißlücke“**

Bezug nehmend auf die im Kapitel 3 behandelten Rahmenbedingungen in Deutschland, Agrarmärkte einerseits und Anforderungen an Umweltstandards andererseits, stellt sich die Frage, welche konzeptionellen Systemansätze der nachhaltigen Intensivierung in der Agrarforschung für eine Erhöhung der Ökoeffizienz der landwirtschaftlichen Produktion in Deutschland entwickelt werden sollten. Hergeleitet werden soll dies an einem aktuellen Thema, insbesondere in Bayern, nämlich der so genannten „Eiweißstrategie“. Hintergrund hierfür ist der Befund, dass Deutschland derzeit seine „Eiweißlücke“ der heimischen Produktion (60 % des verbrauchten Eiweißes werden importiert) vornehmlich über Sojaimporte aus Südamerika deckt. Laut [10] entspricht der derzeitige „virtuelle Sojaflächenimport“ Deutschlands einem Flächenäquivalent von ca. 3,6 Mio. ha. Die Frage, die sich aus dem aktuell forcierten Anbau von Körnerleguminosen zur Schließung der „Eiweißlücke“ in Deutschland ergibt, ist die, ob dies im Einklang mit der globalen Dimension des Kon-

zeptes der nachhaltigen Intensivierung steht? Dazu zunächst zwei grundsätzliche Annäherungen an die Problematik:

1. Im Rahmen einer weltweiten Arbeitsteilung und eines weltweiten Handels von Gütern, also eines internationalen Nehmens und Gebens aufgrund ökonomischer Vorzughkeiten, erscheint die Identifizierung einer nationalen „Lücke“ und der daraus abgeleitete Schluss, diese „Lücke“ umgehend auf nationaler Ebene schließen zu müssen, rückwärts gewandt im Sinne geschichtlich dokumentierter Autarkiebestrebungen. Dies gilt insbesondere dann, wenn nicht gefragt wird, ob diese Lücke nicht anderswo kostengünstiger zu schließen wäre. Schließlich geht Deutschland davon aus, dass Brasilien auch weiterhin seine „Kühlschrank- und Autolücke“ über deutsche Produkte zu schließen gedenkt, da deutsche Unternehmen dies derzeit kostengünstiger und besser leisten können als brasilianische Unternehmen.

2. Grundsätzlich macht eine Erweiterung der Fruchtfolgen um Leguminosen in Deutschland vor dem Hintergrund der Steigerung der Agrobiodiversität Sinn. Im Detail sind jedoch verschiedene Voraussetzungen zu überprüfen, bevor eine solche Initiative einen flächenmäßig signifikanten Maßstab einnehmen sollte. Zum einen ist die Frage nach „leakage-Effekten“ zu klären, d.h. was bedeutet es, wenn in Deutschland Körnerleguminosen mit geringem bis mittlerem Ertragsniveau auf Gunststandorten des Ackerbaus hoch ertragreiche Kulturen wie Raps (Öl- + Eiweißpflanze!), Körnermais oder Weizen verdrängen? Dann werden diese hier verdrängten Kulturen auf anderen Äckern der Welt erzeugt mit dort möglicherweise deutlich negativeren Effekten auf die Umwelt und da die weltweiten Erträge von Weizen deutlich niedriger sind als in Deutschland, wird dafür zusätzlich mehr Fläche benötigt, um die hier verdrängten Mengen zu kompensieren (ILUC-Effekte). Zum zweiten muss die Frage geklärt werden, ob die Ausweitung des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland ein „pollution swapping“ induzieren könnte, also andere Umweltschutzziele in Deutschland neben dem der Agrobiodiversität in Frage stellt. Zumindest im Hinblick auf den Wasserschutz ist diese Sorge durchaus berechtigt, da die Stickstoffresiduen aus dem Körnerleguminosenanbau bei nicht optimal gestalteter Fruchtfolge durchaus mit erhöhten Stickstoff-Austrägen über den Pfad Sickerwasser assoziiert sind und damit die Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie zusätzlich gefährden könnten [11].

Letztlich sollte im Sinne der globalen Dimension der nachhaltigen Intensivierung weltweit jeweils dort das Kulturartenspektrum zum Einsatz kommen, welches eine Optimierung der Ökoeffizienz gewährleistet. Wird dieser Maßstab angelegt, sind Getreide, Raps, Mais und weitere Futterpflanzen in Europa definitiv günstig in der Ökoeffizienz für die Produktlinien Stärke bzw. Öle oder Futterenergie. Und bei den Eiweißpflanzen ist der Sojaanbau in Südamerika aufgrund der dortigen günstigen klimatischen Bedingungen mit zum Teil zwei Ernten pro Jahr durchaus mit einer hohen Ökoeffizienz ausgestattet [12], [13] und dürfte je produzierte Tonne hochwertigen Eiweißes den Körnerleguminosen in Deutschland überlegen sein.

Gibt es dennoch Optionen für einen verstärkten Eiweißpflanzenanbau in Deutschland, der die Kriterien einer hohen Ökoeffizienz erfüllt und ILUC-Effekte vermeidet? ILUC-Effekte werden insbesondere dort vermieden, wo kein knappes Ackerland für die Produktion genutzt werden muss. Diese Frage bereitet die Überleitung zum Grünland und zum Futterleguminosenanbau.

Deutschland weist mit etwa 4,8 Mio. ha Dauergrünland (~28-% der LN) eine erhebliches Potential zur Erhöhung der inländischen Eiweißproduktion auf und dieses Dauergrünland

steht nicht in Flächenkonkurrenz zur Ackernutzung, da diese Flächen weitgehend als „absolutes Grünland“ anzusprechen sind. Im Sinne einer angewandten Systemforschung zur Optimierung der Eiweißbereitstellung vom Grünland, die im Wesentlichen der Milcherzeugung dient, reicht es jedoch nicht aus, allein eine begrenzte Grünlandsystemforschung zu entwickeln, sondern es muss die gesamte Prozesskette des Milchproduktionssystems einbezogen werden. Die derzeitigen Milchproduktionssysteme in Deutschland gehen in Richtung einer genetischen Spezialisierung auf Milchproduktion („Einnutzungsrind“ Holstein Frisian (HF)) mit dem Ziel der Maximierung des Milchertrages je Kuh. Dies hat im Extrem dazu geführt, dass Grobfutter vom Grünland die primäre Funktion der Strukturlieferung wahrnimmt, während das bereitgestellte Eiweiß mit hoher Abbaubarkeit im Pansen [14] durch zusätzliches by-pass Protein in erheblichem Umfang ergänzt werden muss (Raps- bzw. Sojaextraktionsschrote), um eine ausreichende Eiweißversorgung am Dünndarm sicher zu stellen [15]. Dieser zusätzliche Eiweißanspruch vom Ackerland ist ab Milchleistungen von mehr als ~7000 kg/Kuh/Jahr überproportional ansteigend, ebenso wie die Bereitstellung von zusätzlicher Futterenergie vom Acker (Maissilage). Und schließlich bedeutet diese Entwicklung eine Abkehr von der Weidenutzung, da zum einen mit steigender Herdengröße nicht mehr ausreichende hofnahe Weideflächen zur Verfügung stehen und zum anderen der Energiebedarf von Hochleistungskühen nur begrenzt aus Weidefutter zu decken ist. In der Konsequenz resultieren daraus kapital- und energieintensive Milchproduktionssysteme mit zunehmend ganzjähriger Stallhaltung, was wiederum die Frage nach der Tiergerechtigkeit der Haltungsverfahren, der Tiergesundheit und der Nutzungsdauer aufwirft [16]. Daraus ist abzuleiten, dass angewandte Systemforschungen zur Grünlandnutzung zum Zwecke der Milcherzeugung bisherige Milchproduktionssysteme in Frage stellen müssen. Die Kieler Gruppe hat dazu in den vergangenen Jahren einen Systemvergleich Milcherzeugung durchgeführt, wobei zwei landwirtschaftliche Betriebe, die unterschiedliche Milchproduktionssysteme repräsentieren, untersucht wurden [17]. Betrieb A (low input, Weißklee/Deutsch'Weidelgras-Weide ohne mineralische N-Düngung) erzeugt Milch in Anlehnung an irische Milchproduktionssysteme (Milcherzeugung nahezu ausschließlich von der Weide, marginaler Konzentratfutareinsatz, Kreuzungstiere HF x Jersey, Milchleistung je Kuh von ca. 6.000 kg ECM; Milchleistung ja ha Weide ca. 11.200 kg). Betrieb B (high input) repräsentiert einen potentiell typischen high input Betrieb der Zukunft (ganzjährige Stallhaltung, Grobfutterbasis Gras- und Maissilage, HF-Genetik, Konzentratfutareinsatz von ca 3 t/Kuh/Jahr (davon ca. 1/3 Sojaextraktionsschrot), Milchleistung je Kuh von ca. 11.000 kg ECM. Auf beiden Betrieben im gleichen Landschaftsraum Schleswig-Holsteins wurden die Stoffströme im Produktionssystem dezidiert erfasst (Energie, Treibhausgasemissionen, Nährstoffausträge über Sickerwasser) und die Ökoeffizienz ermittelt. Beispielhaft ist in der Abbildung 1 der „Product Carbon Footprint (PCF)“, also die CO<sub>2</sub> Äquivalent-Emission je kg erzeugte Milch erfasst und in Abhängigkeit verschiedener Kalkulationsszenarien ausgewiesen. Werden ILUC-Effekte und Effekte der Bodennutzung auf den Bodenkohlenstoffhaushalt nicht berücksichtigt, erscheint das high input System leicht überlegen (linke Säulen Abbildung 1).

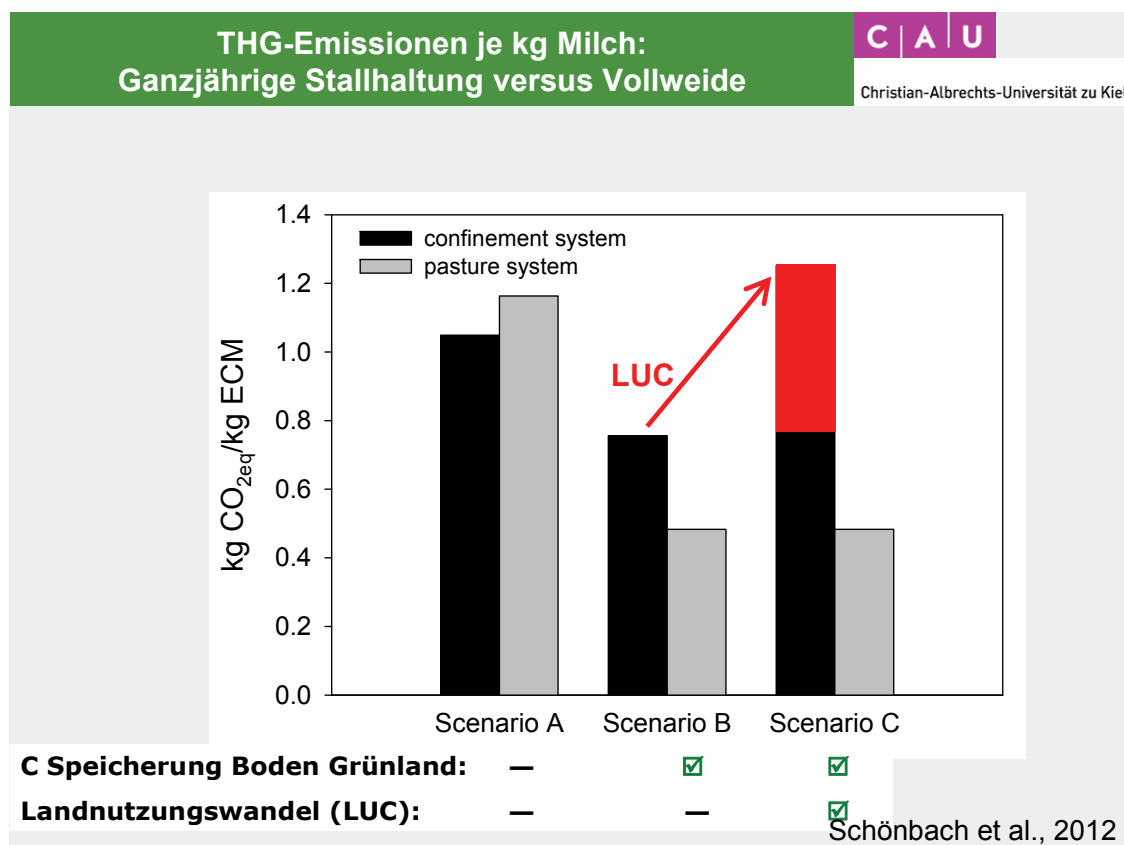


Abb. 1: „Carbon footprint Milch“ (kg CO<sub>2eq</sub>/kg ECM) in Abhängigkeit des Milcherzeugungssystems (confinement system: Ganzjährige Stallhaltung; pasture system: Vollweide) und verschiedener Kalkulationsszenarien (A: Standardverfahren; B: Berücksichtigung CO<sub>2</sub>-Speicherung Boden unter Grünlandnutzung, C: Berücksichtigung B plus Landnutzungswandeleffekte für Soja in Südamerika (Schönbach et al., 2012) [17]

Werden jedoch die Kohlenstoffsequestrierungspotentiale der ausschließlichen Grünlandnutzung (Weidesystem) dem low input System gut geschrieben, verringert sich der PCF des low input Systems maßgeblich und werden zusätzlich ILUC-Effekte für den Sojaanbau (high input System) in Ansatz gebracht, ist das low input System deutlich günstiger einzustufen. Abschließend haben wir den Flächenverbrauch je kg ECM für beide Systeme kalkuliert, wobei Durchschnittserträge für die Konzentratfuttermittelkomponenten inklusive der Allokationsfaktoren in Ansatz gebracht wurden, mit dem Ergebnis, dass der „globale Flächenbedarf“ beider Systeme nahezu identisch ist (ca. 2,3 m<sup>2</sup> je kg ECM). Dieses Beispiel macht für das System Milcherzeugung deutlich, dass nur umfassende angewandte Systemforschung mit dem Infragestellen bestehender Systeme neue Wege einer ökoeffizienten Produktion von agrarischen Rohstoffen aufzeigen kann.

Angewandte Systemforschung im Agrarbereich hat vor dem Hintergrund des neuen Paradigmas der nachhaltigen Intensivierung bisher eingeschlagene Pfade zu hinterfragen, um stabile Pfadabhängigkeiten aufzubrechen. Pfadabhängigkeit ist ursprünglich ein analytisches Konzept in den Sozialwissenschaften, das Prozessmodelle beschreibt, deren zeitlicher Verlauf strukturell einem Pfad ähnelt. Es gibt Anfänge und Kreuzungen, an denen mehrere Alternativen zur Auswahl stehen. Bei Entscheidung für eine bestimmte Alternative (Maximierung Einzeltierleistung) folgt eine stabile Phase, in der die Entwicklung durch positive Feedback-Effekte (Reduktion Arbeitskosten, Entwicklung spezieller Beratungsstrukturen, Entwicklung technischer Lösungen) auf dem eingeschlagenen Weg gehalten

und weiter entwickelt wird (ganzjährige Stallhaltung, Optimierung Rationsgestaltung der Hochleistungskuh (TMR)). Dies bewirkt, dass in einer solchen stabilen Phase Richtungsabweichungen kaum noch möglich sind, da diese zunehmend aufwändig werden (Wechsel der Milchviehrasse, Weidegang, Mangel an alternativer Beratungsexpertise). Das Besondere an stabilen, pfadabhängigen Prozessen ist, dass Entscheidungen tendenziell nicht mehr in Abhängigkeit weiterer Qualitätsmerkmale (Ökoeffizienz, Tierwohl, Verbraucherakzeptanz) getroffen werden und somit nicht selbstkorrigierend sind, sondern dazu prädestiniert sind, Fehler zu verfestigen (Umweltwirkungen, Tiergesundheitsprobleme, mangelnde Akzeptanz der Verbraucher).

Der angewandten Systemforschung im Agrarbereich kommt somit die Aufgabe zu, Pfadabhängigkeiten in frühen Entwicklungsstadien zu hinterfragen und Kreuzungen zu erkennen, an denen ein Umsteuern ohne negative Rückkopplungseffekte möglich ist. Das heißt in diesem konkreten Fall, auf Basis dieser dargestellten Erkenntnisse der Ökoeffizienzanalyse der Milcherzeugung, die durch weitere Arbeiten in der Aussage unterstützt wird [18], [19], [20], [21], [22], alternative Pfade aufzuzeigen und konzeptionell weiter zu entwickeln.

Bayern ist diesbezüglich in einer vergleichsweise komfortablen Situation, denn die 10.000 l Kuh auf Basis der HF-Genetik, ganzjährige Stallhaltung und Herden größer 100 Kühe je Betrieb sind dort die Ausnahme. So ergeben sich neue spezielle Fragestellungen, die in den Arbeitsschwerpunkten der LfL ihre Heimat (z.B. Tierwohl; Eiweißstrategie) und auf Pilotbetrieben ihre Umsetzung finden (z.B. Projekt Kurzrasenweide). Gleichwohl können diese Ansätze noch deutlich weiter entwickelt werden bis hin zu neuen konzeptionellen und übergeordneten Systemforschungsansätzen. Dazu zunächst ein Beispiel aus der Grünland- und Futterbauforschung: Wenn, wie oben ausgeführt, die Erzeugung einheimischer Eiweißträger vom Grünland über alternative Pfade erhöht werden soll, stellt sich die Frage nach der optimalen Intensität der Stickstoffdüngung auf dem Grünland aus einer erweiterten Perspektive. Bisherige Ansätze konzentrierten sich auf die Ableitung optimaler N-Intensitäten in Abhängigkeit des optimalen Grenzertrags, ohne Berücksichtigung der Proteingehalte. In einem Projekt des DLG-Ausschusses Grünland und Futterbau [23] wurde vor diesem Hintergrund an 5 Standorten Deutschlands unter Beteiligung der LfL in Bayern eine Analyse von N-Produktionsfunktionen im Hinblick auf eine gesteigerte Eiweißversorgung von Grünland durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass erhebliche Potentiale der Proteingehaltssteigerung bestehen, wenn entsprechende Nebenbedingungen erfüllt sind (Rationsgestaltung, optimales Anwelken vor der Silierung [24, [25] oder Heubereitung). Diese Eiweißquelle ist insbesondere für das grünlandreiche Bayern von erheblicher Bedeutung. Aber auch im Ackerfutterbau bestehen erhebliche Potentiale der Eiweißbereitstellung über Futterleguminosen. Bayern ist historisch betrachtet „Luzernland“. Diese Futterleguminose steht vor dem Hintergrund einer ökoeffizienten Eiweißstrategie vor einer Renaissance. Im Gegensatz zum Körnerleguminosenanbau (inklusive Soja) sind die Eiweißträge der Luzerne ungleich höher [26], „pollution swapping“ - Effekte sind ebenso zu negieren wie ILUC-Effekte, da die Ertragspotentiale der Luzerne insbesondere auf trockenen Standorten hoch sind, und zudem eine Anpassung an Klimawandeleffekte ebenso gegeben ist wie hervorragende Vorfruchtwirkungen. Wird dieser Pfad weiter verfolgt, stellt sich nahezu automatisch die Frage nach der Gewährleistung der optimalen Proteinverwertung als Heu und damit die Frage nach neuen Technologien der Heutrocknung. Die LfL weist einen gut etablierten Arbeitsschwerpunkt „Regenerative Energien“ aus. Was liegt näher, als in einem angewandten Systemansatz Technologien zu entwickeln, um zum



Beispiel die Abwärme aus Biogasanlagen für die Heutrocknung zu nutzen, was im Übrigen nicht nur für Luzerne, sondern auch für Grünlandaufwüchse von Nutzen wäre.

## 5. **Ausblick: Angewandte Systemforschung „Mixed Farming Systems“**

In den vorherigen Kapiteln wurde die Pfadabhängigkeit intensiver Milchproduktionssysteme thematisiert und die Notwendigkeit, angewandte Systemforschungsansätze zu konzipieren, die Alternativen mit dem Ziel höchster Ökoeffizienz aufweisen, aufgezeigt. Gleichmaßen können auch die bestehenden Betriebspezialisierungen in hoch entwickelten Agrarnationen diskutiert werden. Diese wurden unter den relevanten Rahmenbedingungen seit den 1970er Jahren entwickelt und führten - vereinfacht formuliert - zu spezialisierten Marktfruchtbetrieben auf Weizen-fähigen Standorten und spezialisierten Tierhaltungsbetrieben auf nicht-Weizen-fähigen Standorten bzw. in Grünlandregionen. Über Jahrzehnte dominierten die Vorteile dieser Spezialisierung (reduzierte Kosten der Arbeitserledigung, Vereinfachung der Betriebsabläufe, „economies of scale“). Bezeichnenderweise sind diese Entwicklungen in einer Zeit eingeläutet worden, als die Lohnkosten in der Industrie stiegen und damit die Landwirtschaft gefordert war, die Arbeitskosten zu senken. Die Erlöse für Agrarrohstoffe waren hoch, die Kosten für Energie und Düngemittel niedrig und die Bedeutung von Umwelteffekten spielte für die Entscheidungsfindung der Landwirte keine Rolle. Die gegenwärtige Situation ist durch deutlich abweichende Rahmenbedingungen geprägt. Die Aufwendungen für Energie und Düngemittel sind inflationsbereinigt stärker gestiegen als die Erlöse für Agrarrohstoffe und die negativen Umweltwirkungen der Landwirtschaft sind Gegenstand der gesellschaftlichen Diskussion, die sich zeitversetzt in entsprechenden Politiken äußert. Zudem steigt mit zunehmenden Spezialisierungsgrad der produktionstechnische Aufwand zum Beispiel im Bereich Pflanzenschutz aufgrund zunehmend enger Fruchtfolgen innerhalb der jeweiligen Spezialisierung. Die Resistenzproblematik beim Einsatz bestimmter Pflanzenschutzmittel zum Beispiel bei Unkräutern/Ungräsern und pilzlichen Erreger nimmt sowohl im spezialisierten Marktfruchtbereich (Weizen, Raps) als auch im spezialisierten Tierhaltungsbereich (Mais) zu, vor allem aber hat diese Spezialisierung zu sehr unterschiedlichen Nährstoffnutzungseffizienzen und in Verbindung damit zu erheblichen positiven Nährstoffsalden (N, P, K) in spezialisierten Futterbaubetrieben bzw. -regionen geführt, während die Bodennährstoffgehalte in den Ackerbauregionen tendenziell eher sinken und durch teure Mineraldünger kompensiert werden müssen. Vor diesem Hintergrund spricht vieles dafür, Systemansätze zu entwickeln, die einen optimierten Gemischtbetrieb mit erweiterten Fruchtfolgen (Marktfrüchte plus Futterbau) abbilden, der eine optimale Verwertung der organischen Dünger aus der Tierhaltung im Marktfruchtbau gewährleistet, ausgeglichene Nährstoffsalden aufweist, Pathogene durch umfangreichen Fruchtwechsel unterdrückt, so einen Beitrag zur Agrobiodiversität liefert und insgesamt im Sinne einer erhöhten Ökoeffizienz einen substantiellen Beitrag zur nachhaltigen Intensivierung liefert. Diese Gedanken sind nicht neu, ([27] van Keulen und Schiere betitelten Gemischtbetriebsansätze mit der Frage: Alter Wein in neuen Schläuchen?) gewinnen jedoch vor dem Hintergrund von knappen Ressourcen (Energie, Phosphat), stagnierenden Erträgen aufgrund enger Fruchtfolgen und regional zunehmend kritischer Umweltbelastungen (Tierhaltungsregionen) an Brisanz [28].

Notwendig sind Konzepte, die nicht unbedingt die Spezialisierung des Einzelbetriebs aufheben, sondern im regionalen Kontext ein Nebeneinander von Spezialisierungen organi-

sieren, welches den Transport von Nährstoffen (org. Dünger) aus dem Tierhaltungsbetrieb in den Marktfruchtbetrieb ebenso effizient gestaltet, wie den temporären Flächentausch zwischen den Betrieben, um erweiterte Fruchtfolgen zu initiieren. Zu diesem Themenkomplex gibt es bisher in Deutschland keine überzeugenden angewandten Systemforschungen, die jedoch unbedingt notwendig sind, um gleichermaßen die Landwirte und die Verbraucher von dem potentiellen Nutzen solcher Alternativen zu überzeugen.

## 6. Schlussfolgerungen

Die Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft hat die personelle Expertise, die Infrastruktur und die zeitlichen Perspektiven (Langzeitversuche), um die oben skizzierten angewandten Systemforschungen umfassend zu bearbeiten, interdisziplinär auszufüllen und so innovative neue Systeme in die Praxis einzuführen. Darüber hinaus sind solche Systemansätze eine wertvolle Forschungsressource, die weitere spezielle Fragestellungen auch der universitären Forschung zum Beispiel im Hinblick auf die Resilienz [29] von Agrarökosystemen nahe legt und so letztlich auch den oben formulierten Zielen einer institutionsübergreifenden Systemforschung Vorschub leistet.

## 7. Literaturverzeichnis

- [1] Reidsma, P., Ewert, F. and Oude Lansink, A. (2007): Analysis of farm performance in Europe under different climatic and management conditions to improve understanding of adaptive capacity. *Climatic Change*, 84, 403-422.
- [2] Royal Society (2009): Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of agriculture. The Royal Society. London.
- [3] Taube, F., Kelm, M., Loges, R. und Wachendorf, M. (2006): Ressourceneffizienz als Steuergröße für die Förderung nachhaltiger Produktionssysteme: Gibt es Vorrang-/Eignungsflächen für den ökologischen Landbau? *Berichte über Landwirtschaft*, 84, 73-105.
- [4] Taube, F. (2013): Der zukünftige europäische Weg - Ist nachhaltige Intensivierung möglich? - Europas Beitrag zur zukünftigen globalen Agrarproduktion. *Landwirtschaft im Konflikt mit der Gesellschaft*, Archiv der DLG, 107, 17 -42. Hrsg.: DLG e.V., Frankfurt am Main; DLG Verlag GmbH
- [5] Reidsma, P., Ewert, F. and Oude Lansink, A. (2007): Analysis of farm performance in Europe under different climatic and management conditions to improve understanding of adaptive capacity. *Climatic Change*, 84, 403-422.
- [6] Challinor, A.J., Ewert, F., Arnold, S., Simelton, E. and Fraser, E. (2009): Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2775-2789.
- [7] Bundesregierung Deutschland (2002): Die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie [www.bundesregierung.de](http://www.bundesregierung.de)
- [8] BMVEL (2010): Die deutsche Landwirtschaft - Leistungen in Daten und Fakten. Ausgabe 2010. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz [The German Agriculture - facts and figures. Issue 2010. Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection]. Berlin. (In German)

- [9] BMU 2012
- [10] v. Witzke, H. and Noleppa, S. (2010): EU agricultural production and trade: Can more efficiency prevent increasing 'land-grabbing' outside of Europe? Research Report commissioned by OPERA. Berlin.
- [11] Loges, R., Kelm, M. and Taube, F. (2008): Nitrate leaching and energy efficiency of stockless arable systems compared with mixed farming and a non-organic system on fertile soils in northern Germany. *Cultivating the Future based on Science. Organic Crop Production*, 1, 108-111
- [12] FAO, 2010
- [13] Dalgaard, R., Schmidt, J., Halberg, N., Christensen, P., Thrane, M. and Penge, W. (2008): LCA of soybean meal. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 240-254.
- [14] Edmunds, B., Südekum, K.-H., Spiekens, H. and Schwarz, F.J. (2012): Estimating ruminal crude protein degradation of forages using in situ and in vitro techniques. *Animal Feed. Science and Technology*, 175, 95 - 105
- [15] Schuba, J. und Südekum, K.-H. (2012): Pansengeschützte Aminosäuren in der Milchkühhütterung unter besonderer Berücksichtigung von Methionin und Lysin. *Übers. Tierernährg.* 40, 113 -149
- [16] DGFZ (2013): Die Tierzucht im Spannungsfeld von Leistung und Tiergesundheit – interdisziplinäre Betrachtungen am Beispiel der Rinderzucht. Stellungnahme der DGFZ Projektgruppe „Ökonomie und Tiergesundheit“.
- [17] Schönbach, P., Biegemann, T., Kämper, M., Loges, R. and Taube, F. (2012): Product carbon footprint milk from pasture – and from confinement-based dairy farming. In: Golinski, P., Warda, M. and Stypinski, P. (eds.) *Grassland Science in Europe*, 17, 571 - 573pp.
- [18] Flachowsky, G., Brade, W., Feil, A., Kamphues, J., Meyer, U. and Zehetmeier, M. (2011): Carbon (CO<sub>2</sub>)-Footprints bei der Primärerzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft: Datenbasis und Reduzierungspotenziale [Carbon (CO<sub>2</sub>) footprints of producing food of animal origin - data base and reduction potentials]. *Übersicht Tierernaehrung*, 39, 1-45.
- [19] Flysjo, A., Cederberg, C., Henriksson, M. and Ledgard, S. (2011a): How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, 420-430.
- [20] Flysjo, A., Cederberg, C., Henriksson, M. and Ledgard, S. (2012): The interaction between milk and beef production and emissions from land use change - critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner*
- [21] Nemecek, T., Frick, C., Dubois, D. and Gaillard, G. (2011): Comparing farming systems at crop rotation level by LCA. In: Geerken, T., Mattson, B., Olsson, P. and Johansson, E. (eds.) *International Conference on LCA in Foods*, 65-69. Gotheburg.
- [22] Basset-Mens, C., Ledgard, S. and Boyes, M. (2009): Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics*, 68, 1615-1625.
- [23] Techow, A., Herrmann, A., Kluß, C., Berendonk, M., Diepolder, M., Elsässer, M., Greiner, T., Kaiser, T., Neff, R., Raschbacher, S., Wurth, W., Taube, F. (2013): Optimale

N-Intensität auf dem Grünland: Funktionale Ableitung auf Basis eines DLG-N-Steigerungsversuches. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (im Druck)

[24] Spiekers, H., Ettle, T., Moosmeyer, M., Steinberger, S. (2011): Effiziente Nutzung von Weide und Grünfütterkomponenten mit Milchkühen.

[http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/43594/aggf\\_2011\\_spiekers\\_et\\_al.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/43594/aggf_2011_spiekers_et_al.pdf)

[25] Edmunds, B., Spiekers, H., Südekum, K.-H., Nußbaum, H., Schwarz, F.J. and Bennett, R. (2013): Effects of extend and rate of wilting on nitrogen components of grass silage. *Grass and Forage Sci.* doi 10.1111/gfs.2013 (in press)

[26] Ettle, T., Obermaier, A., Weinfurtner, S. (2011): Luzernesilage im Austausch gegen Grassilage beim Milchvieh. *VDLUFA - Schriftenreihe* 67, 588-594.

[27] Van Keulen, H. and Schiere, H. (2004): Crop-livestock systems: old wine in new bottles? 4th International Crop Science Congress 2004, [www.cropscience.org.au](http://www.cropscience.org.au)

[28] Del Prado, A., Misselbrook, T., Chadwick, D., Hopkins, A., Dewhurst, R.J., Davison, P., Butler, A., Schroder, J. and Scholefield, D. (2011): SIMS(DAIRY): A modelling framework to identify sustainable dairy farms in the UK. Framework description and test for organic systems and N fertiliser optimisation. *Science of the Total Environment*, 409, 3993-4009.

[29] Tschardtke, T., Klein, A., Kruess, A.M., Dewenter, I.S. and Thies, C. (2005) Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecol. Letters*, 8, 857 -874.

---

# Zukünftige Aufgaben im Bereich Forschung: Pflanzenbau

Peter Doleschel

LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, 85354 Freising

Peter.Doleschel@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Pflanzenbauliche Forschung umfasst ein breites Feld von Grundlagen- und Spezialdisziplinen. Die Wissensgewinnung im Pflanzenbau stützt sich zum großen Teil auf Feldversuche, wobei neue Technologien wie Bildauswertung und Fernerkundung an Bedeutung gewinnen. Forschungsfragen der Zukunft leiten sich aus mehreren Innovationstreibern ab:

- Klimawandel
- Informationstechnologie
- Pflanzenschutz
- Biotechnologie und Pflanzenzüchtung
- technische Entwicklungen
- Staat und Gesellschaft

In der Gesamtheit bleiben Ertrag und Qualität pflanzlicher Produkte im Fokus. Für die Umsetzung der speziellen Fragen bildet das Feldversuchswesen die wichtigste Grundlage. Neben den rein fachlichen Innovationstreibern wirken auch administrative und gesellschaftliche Faktoren als Auslöser pflanzenbaulicher Forschungsthemen.

Die thematische Vielfalt des Pflanzenbaus ist die größte Herausforderung für eine effiziente Forschungsarbeit. Hier dürften die größten Potentiale in einem optimalen Austausch der Fachleute innerhalb und zwischen forschenden Einrichtungen sowie mit Beratung und Praxis liegen.

## 1 Pflanzenbau als Disziplin

Pflanzenbauliche Forschung ist anwendungsorientierte Forschung. Ziel und Aufgabe ist es, die landwirtschaftliche und gärtnerische Produktion von pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln sowie von Grund- und Rohstoffen zu optimieren und den aktuellen, auch gesellschaftlichen, Anforderungen anzupassen. Die Ziele dieser Optimierung unterliegen dabei einem steten Wandel, Ertrag und Qualität der Produkte spielen aber immer eine große Rolle.

Der Pflanzenbau fasst Grundlagenwissen und angewandte Forschungsergebnisse vieler anderer Forschungsbereiche zusammen. Einen stark vereinfachten Überblick gibt dazu Abbildung 1.

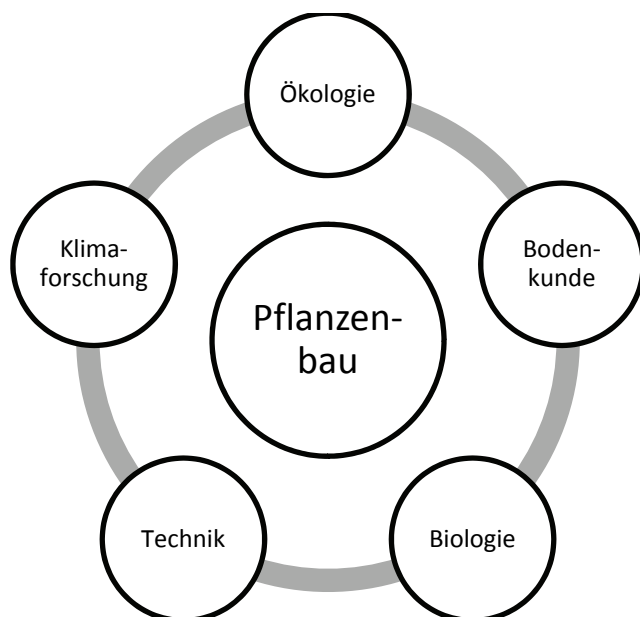


Abb. 1: Pflanzenbau fußt auf vielen Grundlagen

Durch die vielfältigen Interaktionen aller möglichen Prozesse im Pflanzenbau sind die möglichen Themen- und Forschungsfelder von extremer Vielfalt geprägt. Die traditionelle Disziplin der Pflanzenbauwissenschaften lässt sich in die Hauptkategorien Ackerbau, Grünlandwirtschaft und Gartenbau untergliedern. Darunter finden sich zahlreiche Spezialdisziplinen und fachliche Aufgabenfelder. Hier zeigt der Blick in das Inhaltsverzeichnis eines Standardwerkes zum Pflanzenbau [1] schon bei den Grundlagen des allgemeinen Pflanzenbaus die Schwierigkeit, eine systematische Ordnung zu finden (Abbildung 2).

|                       |                        |                             |
|-----------------------|------------------------|-----------------------------|
| Ökologie              | Bodenkunde             | Bodenschutz                 |
| Bodenbearbeitung      | Biologische Grundlagen | Ertragsbildung              |
| Fruchtfolge           | Pflanzen-<br>ernährung | Agrar-<br>meteorolo-<br>gie |
| Pflanzen-<br>züchtung | Saatgut-<br>erzeugung  | Feldversuchs-<br>wesen      |

Abb. 2: Themen der Grundlagen des allgemeinen Pflanzenbaus

Aus den Themenfeldern und den Grundlagen leiten sich spezielle Arbeitsgebiete ab, wie sie z.B. von der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (GPW) [2] als Arbeitsgemeinschaften geführt werden (Abbildung 3). Auch hier zeigt sich die starke Heterogenität des Forschungsfeldes. Dieses wird durch wichtige, organisatorisch an den Forschungseinrichtungen oft eigenständige Einzeldisziplinen ergänzt:

- Pflanzenschutz
- Pflanzenzüchtung
- Ökologischer Landbau

|  |  |   |
|--|--|---|
| Agrar- und Produktions-<br>ökologie<br><i>Uni Bonn</i> | Ertragsphysiologie<br>und Wachstums-<br>modelle<br><i>Uni Kiel</i> | Grünland- und<br>Futterbau<br><i>SMUL Sachsen</i> |
| Heil- und<br>Gewürzpflanzen<br><i>Uni Giessen</i>      | Nachwachsende<br>Rohstoffe<br><i>Uni Bonn</i>                      | Precision Farming<br><i>Uni Hohenheim</i>         |
| Saatgut- und<br>Sortenwesen<br><i>IPK Gatersleben</i>  | Versuchswesen<br><i>Uni Hohenheim</i>                              | Tropischer<br>Pflanzenbau<br><i>Uni Hohenheim</i> |

Abb. 3: Arbeitsgebiete in den Pflanzenbauwissenschaften am Beispiel der Arbeitsgemeinschaften der GPW, jeweils mit Sitz der Leitung der AG

Für eine künftige effiziente Forschung und Wissensgenerierung im Bereich des Pflanzenbaus ist daher eine intensive Zusammenarbeit der verschiedenen Forschungseinrichtungen von großem Nutzen.

Weil die pflanzenbauliche Forschung stark auf Feldversuchen beruht, findet sich hier eine sinnvolle Kooperationsbasis. Fragestellungen lassen sich in Abhängigkeit von der erwarteten regionalen Differenzierung in unterschiedlich groß angelegten Versuchsserien über Verwaltungsgrenzen hinweg bearbeiten. Organisatorisch auf hohem Niveau ist dies bei der Prüfung von neuen Sorten und bei neuen Pflanzenschutzmitteln gelöst.

## 2 Künftige Forschungsaufgaben im Pflanzenbau

Bei der Lektüre älterer Publikationen und Texte [3, 4, beliebig erweiterbar] fällt die Vielfalt der bereits "abgearbeiteten" Themen und Fragestellungen auf. Diese haben durch den Klimawandel und die Innovationen in den Bereichen Sorten, Pflanzenschutzmittel und administrative Vorgaben teilweise nichts an Aktualität eingebüßt, teilweise gibt es völlig neue Fragestellungen aufgrund der Innovationen im Bereich Landtechnik, Kommunikationstechnik, Bildverarbeitung, Biometrie, Biotechnologie und Züchtungsforschung. Auch

administrative Vorgaben und gesellschaftliche Belange spielen eine wesentliche Rolle. Die wesentlichen Zukunftsaufgaben in der pflanzenbaulichen Forschung sind in enger Verknüpfung mit den genannten Innovationsfaktoren zu sehen (Abbildung 4).

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Klimawandel</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ertragssicherung: Sorten, Ertragsoptimierung, Pflanzenschutz-Strategien</li> <li>• Carbon-Footprint: Effizienz, N-Fixierung, Vermeidung N-Verluste</li> </ul> |
| <b>Informationstechnologie</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuchswesen: Biometrie, GPS , Bildanalyse, Simulation...</li> <li>• Fernerkundung/Bildinterpretation: Phänotypisierung, Unkrautkontrolle...</li> </ul>      |
| <b>Pflanzenschutz</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umweltschonende Applikation</li> <li>• Anpassung an Auflagen und fehlende Wirkstoffe</li> </ul>   |
| <b>Pflanzenzüchtung</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; Sortenprüfwesen, Kooperation</li> <li>• &lt; Phänotypisierungsverfahren</li> </ul>   |
| <b>Technik</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenschutz (Verdichtung), Bodenbearbeitungsverfahren</li> <li>• Energieeffizienz, alternative Energien in der Mechanisierung</li> </ul>                      |
| <b>Staat und Gesellschaft</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökologischer Landbau: siehe oben usw.!</li> <li>• Anpassung an Auflagen aus Fach- und Förderrecht: siehe oben usw.!</li> </ul>                                |

Abb. 4: Innovationsfaktoren mit Wirkung auf den Pflanzenbau und daraus abgeleitete Forschungsthemen

Um die Sicht von Experten der angewandten Forschung aufzunehmen, wurde an der LfL eine informelle Expertenbefragung durchgeführt, deren Ergebnis in Tabelle 1 wiedergegeben ist. Die in der Befragung genannten Themen sind natürlich individuell aus der persönlichen Arbeitssituation geprägt, zeigen aber meist eine gute Übereinstimmung mit den aus den Innovationsfaktoren abgeleiteten Forschungsthemen.

In der letzten Spalte von Tabelle 1 ist angegeben, welche Ausstattungsmerkmale der LfL einen wichtigen Beitrag zum Erfolg der genannten Forschungsfragen leisten können. Grundlegend ist dabei die ressortübergreifende Ausstattung des Versuchswesens mit dem Versuchsstellennetz der Fachzentren für Pflanzenbau in Bayern, den Versuchsbetrieben der LfL und der Laborausstattung der LfL-Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen.

Eine weitere, grundlegende Verbesserung der Forschungsmöglichkeiten konnte mit der Einrichtung einer automatisierten Anlage zur Phänotypisierung von Mini-Parzellen im Gewächshaus (Moving-Fields-Anlage) erreicht werden. Für künftige Projekte zur Analyse von Stoffflüssen, die bei vielen Forschungsfragen eine große Rolle spielen, wäre eine fortschrittliche Lysimeteranlage notwendig.



### 3 Schlussfolgerungen

Die Themenvielfalt, die Zahl der Akteure und die in Teilbereichen (IT) ungeheure Geschwindigkeit, mit der neue Möglichkeiten entstehen, zwingt zu einem starken Austausch der im Pflanzenbau forschenden Einrichtungen und Forscherpersönlichkeiten. Das ist teilweise auch innerhalb der Forschungseinrichtungen notwendig.

Für die LfL ist es eine Herausforderung und Aufgabe, diesen Austausch innerhalb der Einrichtung und mit den Akteuren der Landwirtschaftsverwaltung und den Selbsthilfeeinrichtungen zu realisieren. Organisatorisch spannen sich die fachlichen Kompetenzen zwischen den Instituten für Pflanzenbau, Agrarökologie, Pflanzenschutz, Tier und Technik sowie Agrarökonomie auf. Hinzu kommen die Abteilungen für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen sowie für Versuchsbetriebe.

Für einen Teilbereich des Pflanzenbaus, die Grünlandbewirtschaftung, ist die Koordination der Forschung bereits in beispielhafter Weise durch einen gut funktionierenden Arbeitsschwerpunkt "Effiziente und nachhaltige Grünlandbewirtschaftung" gelöst. Vielleicht gibt dieser Beitrag einen Impuls, diese für den "Rest" des Pflanzenbaus, den Ackerbau, ebenfalls zu realisieren.

### 4 Literaturverzeichnis

- [1] Lütke-Entrup, N. u. J. Oehmschen (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 1: Grundlagen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 798 Seiten
- [2] Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften – Arbeitsgemeinschaften;  
<http://www.gpw.uni-kiel.de/de/arbeitsgemeinschaften>, abgerufen am 19.06.2013, 09:44.
- [3] Roemer, Th. und F. Scheffer, Ackerbaulehre, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 1933
- [4] Roemer, Th. et. al: Handbuch der Pflanzenzüchtung in sechs Bänden. Verlag Paul Parey, Berlin 1961

Tabelle 1: Forschungsfragen – Ergebnis einer LfL-Expertenbefragung

| Fragestellung  | Arbeitsgebiet    | Kooperationen   | Ausstattung LfL   |
|--|------------------|---|---|
| Verfahren der Bodenbearbeitung   | Landtechnik      | Pflanzenbau, Agrarökologie, Ökonomie                        | LfL-Versuchsbetriebe  |
| Tröpfchenbewässerung im Ackerbau und in Sonderkulturen                         | Landtechnik      | Pflanzenbau, Pflanzenzüchtung, Pflanzenernährung, Gartenbau | Versuchsstellennetz   |
| Agroforstsysteme   | Agrarökologie    | Pflanzenbau, Technik, Waldbau                               | LfL-Versuchsbetriebe  |
| Artenanreicherung im Wirtschaftsgrünland                                       | Agrarökologie    | Ökonomie  |   |
| Bodendauerbeobachtung  | Agrarökologie    | Bodenkunde  | BDF-Flächennetz, Laborausstattung   |
| Untersuchung von Produktionsintegrierten Kompensationsmaßnahmen                | Agrarökologie    | Pflanzenbau, Ökonomie                                       | LfL-Versuchsbetriebe  |
| Quantifizierung von Stoffflüssen im System Pflanze-Boden                       | Agrarökologie    | Pflanzenernährung, Pflanzenbau, Technik                     | (notwendig: Lysimeter-Anlage)   |
| Optimierte Fruchtfolgen  | Pflanzenbau      | Agrarökologie, Pflanzenschutz, Technik                      | Versuchsstellennetz, LfL-Versuchsbetriebe                                 |
| Verbesserung der Produktivität von Eiweißpflanzen, Sojabohnen                  | Pflanzenbau      | Pflanzenzüchtung, Pflanzenschutz, Agrarökologie             | Laborausstattung, Biotechnologie (Fluidigm-Technik) Versuchsstellennetz   |
| Verbesserung der Nährstoffeffizienz von Sorten                                 | Pflanzenzüchtung | Pflanzenernährung, Biotechnologie, Pflanzenbau              | Züchtungsforschung, Biotechnologie (Fluidigm-Technik) Versuchsstellennetz |
| Reduzierung von PSM-Rückständen  | Pflanzenschutz   | Technik   | Versuchsstellennetz   |
| Schließung von Indikationslücken im Pflanzenschutz (Gartenbau, Sonderkulturen) | Pflanzenschutz   |   | Versuchsstellennetz   |
| Nützlingseinsatz im Gartenbau  | Pflanzenschutz   |   | Gewächshäuser   |
| Steigerung der Biomasseleistung klassischer Fruchtarten                        | Pflanzenzüchtung | Pflanzenbau, Pflanzenernährung, Technik                     | Versuchsstellennetz, Phänotypisierung (Moving-Fields-Anlage)              |

---

## **Zukünftige Aufgaben im Bereich Forschung: Erzeugung von Milch und Fleisch**

Kay-Uwe Götz <sup>(1)</sup>, Hubert Spiekers <sup>(2)</sup> und Georg Wendl <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> LfL, Institut für Tierzucht, Prof.- Dürrwächter-Platz 1, 85586 Poing/Grub

<sup>(2)</sup> LfL, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof.- Dürrwächter-Platz 3, 85586 Poing/Grub

<sup>(3)</sup> LfL, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Prof.- Dürrwächter-Platz 2, 85586 Poing/Grub

Kay-Uwe.Goetz@LfL.bayern.de

### **Zusammenfassung**

Die Erzeugung von Milch und Fleisch wird auch in absehbarer Zukunft die wesentliche Einkommensquelle unserer Landwirte bleiben. Die sich ständig ändernden Rahmenbedingungen, aber auch der technische Fortschritt bedingt in allen drei Disziplinen der tierischen Erzeugung einen steigenden Forschungsbedarf. Der angewandten öffentlichen Forschung kommt dabei eine wichtige Rolle zu, weil sie in besonderer Weise gesellschaftliche Anliegen in die Produktionspraxis transferieren kann und moderne interdisziplinäre Ansätze sehr gut verwirklichen kann. Die Betrachtung der Forschungsperspektiven der drei Disziplinen zeigt, dass die Verflechtungen in Zukunft noch deutlich enger werden und dass sich aus den Interaktionen neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistung, der Gesundheit, der Ressourceneffizienz und des Wohlbefindens unserer Nutztiere ergeben werden. Die zunehmende Komplexität der Fragestellungen wird dabei auch neue Anforderungen an die Qualifikation der Forscher und an deren Ausstattung stellen.

### **Summary**

The production of milk and meat remains the main source of income of Bavarian farmers in the foreseeable future. The need for applied research will probably increase, due to significant changes in technical, economic and political conditions. This will affect all three disciplines of animal research. Public research will play a specific role with respect to the transfer of societal demands into practical production methods. It is also especially well suited for interdisciplinary approaches which become more and more important given the increasing complexity of scientific research issues. The article describes future activities and trends for animal nutrition, animal husbandry and animal genetics which show that interactions between the three disciplines will become closer and new technologies will in many cases be used by all of them. These interactions will improve performance, health, resource efficiency and welfare of our animals. However, the increasing complexity of research questions will also imply higher qualifications of researchers and more expensive research facilities.

# 1 Rahmenbedingungen

Die Erzeugung von Milch und Fleisch unterliegt vielfältigen und sich ständig ändernden Rahmenbedingungen. Die wirtschaftlich, ökologisch und gesellschaftlich optimierte Anpassung an diese Rahmenbedingungen stellt die drei Disziplinen der tierischen Erzeugung vor immer neue Herausforderungen. Dabei ergibt sich immer dann ein überproportionaler Forschungsbedarf, wenn die nationalen Rahmenbedingungen signifikant von den internationalen Standards abweichen, da internationale Ergebnisse dann nur in Ansätzen mit genutzt werden können. Geht man davon aus, dass die Aufgabe der Politik darin besteht, auch solche elementaren Bereiche wie die Landwirtschaft mit zu gestalten, dann kann eine eigenständige Landwirtschaftspolitik nur dann umgesetzt werden, wenn sie auf eine eigene, leistungsfähige Forschung zurückgreifen kann. Für die angewandte Forschung steht die Veränderung in der Praxis im Vordergrund, weshalb Fragen zur Umsetzung ebenfalls Gegenstand der Forschung sind. Die verschiedenen Ebenen der Forschung müssen möglichst abgestimmt arbeiten, damit die unterschiedliche Methodenkompetenz und Ausrichtung im Sinne des jeweiligen Forschungsziels optimal genutzt werden kann.

## 1.1 Politische Rahmenbedingungen

Unter den Punkten, die die Forschung auf dem Gebiet der Erzeugung von Milch und Fleisch in den nächsten zwanzig Jahren beeinflussen werden, stellt sicherlich die Abschaffung der Milchquotenregelung eine erste Herausforderung dar. Sie wird zwangsläufig dazu führen, dass statt der Quote die Fläche zum begrenzenden Faktor wird und damit die Ansprüche der Erzeuger an die Effizienz der Nährstoff- bzw. Flächenverwertung weiter steigen werden. Es ist zu erwarten, dass sich die Flächenkonkurrenz zwischen Milch-, Fleisch- und Energieerzeugung weiter verschärfen wird.

Eine zweite wichtige Rahmenbedingung sind die steigenden Ansprüche der Bevölkerung an die Tierhaltung im Hinblick auf (zu hohes) Leistungsniveau, Tiergesundheit, Antibiotikaeinsatz, Emissionen aus der Tierhaltung, Sojaimporten und Nahrungsmittelkonkurrenz bei der Erzeugung von Milch und Fleisch. Auch wenn die Erzeugung von Milch und Fleisch für den Export in Deutschland bzw. ganz Mitteleuropa im Sinne einer global optimalen Faktorallokation begrüßenswert ist, ist der langfristig entscheidende Produktionsfaktor die gesellschaftliche Akzeptanz der Nutztierhaltung in den Größenordnungen, wie sie wirtschaftlich sinnvoll sind. Auf dem nationalen Markt können wir hierauf mit der Erzeugung von regionalen, ökologischen oder Produkten mit Tierwohl-Label reagieren, aber für den Export werden auch weiterhin andere Maßstäbe gelten.

Dies gilt auch für die bekannten Zielkonflikte, wobei zunehmend auch die politisch positiv besetzten Ziele Konflikte zeigen, z.B., wenn es um den Konflikt zwischen Tierwohl und Emissionsminderung oder um den Verzicht auf Höchstleistung und Klimarelevanz geht. Der politisch und gesellschaftlich gewollte Ausbau der ökologischen Landwirtschaft ist ebenfalls zu beachten. Weitere Herausforderungen ergeben sich aus der Neuausrichtung der EU-Agrarpolitik über Greening, Eiweißstrategie etc.

Bei den Rahmenbedingungen sind die marktinduzierten Effekte nicht zu vernachlässigen. Die Globalisierung wird weiterhin zunehmen und die natürlichen Produktionsbedingungen werden in ihrer Bedeutung gegenüber dem rechtlich-politischen Rahmen, aber auch hinter den Vermarktungsstrategien zurücktreten. Insbesondere werden sich die Erzeuger einer stärkeren Volatilität der Märkte gegenüber sehen, was ebenfalls geeignete Strategien erfordert, die bislang nur große und mächtige Organisationen vorweisen können.

## 1.2 Rolle der öffentlichen Forschung

Die Landwirte selbst können sich auf Grund der typischen Unternehmensgröße keine eigene Forschungsabteilung leisten (Isermeyer, 2003 [7]). Gleiches gilt auch für die bäuerlichen Organisationen, die nur dann leistungsfähige Forschungsabteilungen aufbauen können, wenn sie eine Größe erreicht haben, die nationale Grenzen weit überschreitet. Auch dann werden diese Forschungsabteilungen natürlich in erster Linie die globale ökonomische Leistung ihrer Produkte optimieren. Folglich ist die öffentliche Forschung immer dann erforderlich, wenn neben dem Profit auch andere Ziele und Ansätze erforscht werden sollen. Dabei kann man diese Aspekte natürlich nicht von der Ökonomie trennen, denn in einem freiheitlichen System müssen die von der öffentlichen Forschung entwickelten Konzepte überzeugen, damit sie in die Realität umgesetzt werden.

Öffentliche Forschung ist immer dann besonders wichtig, wenn moderne interdisziplinäre Ansätze gefragt sind, wie z.B. bei den Themen Klimawandel, Nachhaltigkeit oder gesellschaftliche Akzeptanz der Landwirtschaft oder der Nutztierhaltung. Aber auch die Erschließung neuer Merkmale ist ein typisches Feld für öffentlich geförderte Forschung. Tiergesundheit und Verhaltensmerkmale wie z.B. Kannibalismus sind typische Felder, die ohne öffentliche Forschung vermutlich nicht in absehbarer Zeit bearbeitet werden. Die öffentliche Forschung hat auch bereits vielfach den Paradigmenwechsel von der reinen Effizienzverbesserung hin zur verstärkten Berücksichtigung von Nachhaltigkeit und gesellschaftlicher Akzeptanz vollzogen. Dies zeigt zum einen das DAFA-Strategiekonzept Nutztierhaltung (DAFA, 2012 [2]), aber auch die überwältigende Resonanz auf die BLE-Ausschreibung zur Verbesserung des Tierwohls.

## 2 Tierernährung und Futterwirtschaft

Der Tierernährung im weiteren Sinne kommt aus Sicht der Kosten, der Umwelt, der Produktqualität und -sicherheit, der Leistung sowie Gesundheitsvorsorge und Tierwohl eine große Bedeutung zu. Entsprechend der Veränderungen in der Genetik, dem Markt, dem Futterangebot und den gesellschaftlichen Herausforderungen gibt es stets neue Fragestellungen für die angewandte Forschung im Bereich Futter und Fütterung. Wichtige Teilbereiche sind auch für Zukunft die Bewertung der Futtermittel, die Konservierung und die Futterlogistik sowie der effiziente Einsatz der Futtermittel (Rodehutschord und Südekum, 2010 [11]). Von besonderer Bedeutung ist der Bereich Tierwohl und Tierernährung (FAO, 2012 [5]). Zur Identifizierung und Transparenz der Forschungsthemen trägt die jährliche Befragung unter den Versuchsanstellern in der angewandten Forschung bei (Grünwald und Staudacher, 2013 [1]; Staudacher und Grünwald, 2013 [12]).

### 2.1 Futterwirtschaft

In der Futterwirtschaft sind die aktuellen Entwicklungen zur Konkurrenz von Energieerzeugung, Rohstoffproduktion, weltweiten Flächennutzung sowie Klimawirkung und Kulturlandschaft zu beachten. In den Betrieben gilt es, das Futter möglichst effizient zu nutzen. Von dem, was wächst soll möglichst viel in Milch und Fleisch umgesetzt werden. Die Arbeiten zur effizienten Futterwirtschaft bei Grünland, Ackerfutterbau sowie Getreide und Eiweißfrüchten sind daher stets eine Herausforderung für die angewandte Forschung. Ein fächerübergreifendes Vorgehen von Pflanze, Technik, Tier und Ökonomie ist Voraussetzung.

Aktuelle Entwicklungen in der EU, wie die Ausgestaltung des Greenings sowie die vielgestaltigere Fruchtfolge sind aufzugreifen. Letztlich geht es um eine effiziente Futterbereitstellung, die Flächenbedarf und Importe spart und eine hohe und sichere Futterqualität gewährleistet. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei der „nachhaltigen Intensivierung“ der Grünlandbewirtschaftung zu. Aufgegriffen wird dies in der kommenden Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA) zum Grünland.

Im Bereich der der Grobfutter ergeben sich konkret folgende Fragestellungen:

- Futterkonservierung: Futter- und Flächeneffizienz, Siliermitteleinsatz, Trocknung, Silocontrolling, Umweltverträglichkeit etc.
- Futterbewertung: Lieferung von Aminosäuren, Futteraufnahme, Strukturwirkung, produktionsbegleitende Untersuchungen etc.
- Futterhygiene: Schimmel und Verderb reduzieren, Futtermittelsicherheit, Transfer von Giftstoffen ins Produkt, Verbleib von Pathogenen in Konservaten etc.
- Futterlogistik: Futterernte und Einlagerung, automatische Fütterungssysteme, Mischwagen etc.

Bei den Kraft- und Saftfuttermitteln stehen Fragen zur Futterbewertung, sicheren Lagerung und der Aufbereitung durch Fermentation an. Bei der Futterhygiene und der Futterlogistik sind die Fragestellungen ähnlich wie beim Grobfutter. Hier ist eine enge Abstimmung erforderlich. Hinzu kommen Fragen zur Futterkonfektionierung. Dies betrifft die Vermahlung und die Pelletierung auch im Hinblick auf das Tierwohl.

## 2.2 Rinderfütterung

Bei der Milchkuh steht eine Weiterentwicklung der Vorgaben zur Rationsplanung an. Dies betrifft die Proteinbewertung auf Basis von Aminosäuren und die Weiterentwicklung der Strukturbewertung. Das System des nutzbaren Rohproteins (nXP) soll um die wichtigsten Aminosäuren erweitert werden. Bei den Grasprodukten kann auf die Vorarbeiten von Edmunds et al. (2013) [3] aufgebaut werden. Die Strukturbewertung zielt über die Vermeidung von Acidose etc. stark auf das Tierwohl ab. Basis der Änderungen sind die Arbeiten aus Hohenheim zur effektiven neutralen Detergenzien Faser (NDF). Eine Weiterentwicklung ist der in Erprobung befindliche Strukturindex nach Rutzmoser. Die verbesserte Strukturbewertung sollte auch in der Rindermast etabliert werden, da hier auf der Basis Silomais und Kraftfutter die Grenzbereiche der wiederkäuergerechten Rationsgestaltung schnell erreicht werden. Zur Beantwortung der Fragen sind Versuche zur Fütterung und Futterbewertung die Basis.

Generell werden in den Fütterungs- und Verdauungsversuchen im Bereich Rind die Konsequenzen des Einsatzes unterschiedlicher Futtermittel auf Leistungsparameter, Futteraufnahme und Tiergesundheit überprüft. Hierzu werden die wertbestimmenden Parameter experimentell ermittelt und die sich aus den Futtermiteleigenschaften ergebenden Konsequenzen für die Rationsgestaltung bewertet. Weiterhin ist es dauernde Aufgabe der Forschung, die Empfehlungen zur Versorgung der Tiere mit Nährstoffen (z.B. Rohprotein, Mineralstoffe etc.) und Energie zu überprüfen und ggfs. zu korrigieren. Dies betrifft auch die Anforderungen an eine „wiederkäuergerechte“ Fütterung.

Die Versuche decken derzeit den gesamten Bereich in der Mast (Fressererzeugung, Bullen/Färsenmast) und verschiedene Phasen der Laktation bei der Milchkuh ab. Im Bereich Kälber- und Jungviehaufzucht sowie bei den Trockenstehern sollten zukünftig verstärkt Untersuchungen durchgeführt werden. Die erforderlichen ergänzenden Voraussetzungen

im Hinblick auf die Versuchseinrichtungen sollten eingerichtet werden. Die Schwerpunkte der Arbeit in den kommenden Jahren werden auf die Themen Versorgung mit Rohprotein und „Struktur“ bei Mastrindern gelegt. Beim Rohprotein haben sich die systematischen Dosis-Wirkungsversuche als sehr aussagefähig erwiesen. Dies betrifft die Ableitung von Empfehlungen zur Versorgung sowie die Nutzung der Ergebnisse in der Beratungspraxis. Weiterhin sind Versuche mit Maissilagen mit unterschiedlicher Restpflanzenverdaulichkeit, Versuche im Bereich Futterzusatzstoffe im weiteren Sinne sowie Untersuchungen zum Futterwert von Esparsette in Planung. Die Untersuchungen zum „heimischen Eiweiß“ (Sojaprodukte aus heimischer Verarbeitung, Grascobs) werden fortgeführt. Sobald im Kälberbereich die erforderlichen Voraussetzungen geschaffen sind, sind die derzeit stark diskutierten *ad libitum*-Tränkesysteme weiter zu überprüfen, möglichst im Hinblick auf die spätere Entwicklung der Tiere unter dem Stichwort der „Programmierung“. Projektiert sind ferner fächerübergreifende Versuche (Tierzucht, Tierernährung, Technik) zur Thematik der Intensität der Milchviehhaltung.

### 2.3 Schweinefütterung

In der Schweineproduktion steht in absehbarer Zeit mit der Ebermast ein neues Produktionsverfahren vor der flächendeckenden Einführung. Hierzu sind optimierte Fütterungskonzepte zu entwickeln, die zum einen die Ableitung und Evaluierung von Versorgungsempfehlungen für die Ebermast (Aminosäuren, Energie, ...) umfassen, zum anderen aber auch dazu dienen sollen, den Ebergeruch durch Verminderung des Skatolgehaltes im Schlachtkörper zu reduzieren. Hierzu bedarf es der weiteren Erprobung verschiedener Futterzusatzstoffe (Inulin, Fructooligosaccharide, Chikoree, Topinambur, ...).

Genauso dringend ist die Entwicklung von Fütterungskonzepten, die zu einer Reduzierung des Kannibalismus beitragen. Solche komplexen Fragestellungen erfordern ein koordiniertes Vorgehen aller drei Disziplinen und können sehr gut im Kontext der LfL bearbeitet werden. Die Ansätze umfassen unter anderem die Optimierung der Rationen, der Fütterungszeiten, Sättigung der Tiere, Versorgung mit Rohfaser, Futter- bzw. Fütterungshygiene, Wasserversorgung und vieles mehr. Daneben gibt es auch erste Ansätze für "Antikannibalismusfutter" wobei Aspekte wie Ballaststoffe, besondere Aminosäuren, Geschmacksstoff „Fleisch“ oder Trogtränke statt Nippeltränke untersucht werden sollen.

Neben diesen bereits begonnenen Themen stehen auch weitere Fragen zur Verbesserung des Tierwohls und der Reduzierung des Antibiotikaverbrauchs im Fokus. Im Hinblick auf den ersten Aspekt bilden Grundfuttergaben an Sauen und Mastschweine einen wichtigen Forschungsinhalt, aber auch viele andere Aspekte bieten im Hinblick auf das Tierwohl noch machbare Verbesserungsmöglichkeiten. Die Fütterung auf Gesundheit ist und bleibt ein zentrales Thema in der Forschung beim Schwein.

Im Hinblick auf die Reduzierung des Antibiotikaverbrauchs soll vorrangig die Optimierung der Antibiotikaaanwendung untersucht werden. Die Vielfalt der Themen (Antibiotika über Futter/Wasser/Medikator, tierindividuelle Aufnahme, Verschleppung/Eintrag in Gülle/Luft/Umwelt, ev. Resistenzen beim Personal, Antibiotikaträgerstoffe und Ablagerung in der Wasserversorgung ...) zeigt den enormen Forschungsbedarf auch über die Einrichtung einer Antibiotikadatenbank hinaus. Neben diesen direkten Aspekten spielen aber auch Fragen der Minderung des Antibiotikabedarfs eine Rolle. In diesem Zusammenhang sollen Futterzusatzstoffe und Rationen mit entzündungshemmender Wirkung und Auswirkungen eines Verzichts auf Einstallprophylaxe untersucht werden.

Darüber hinaus bietet der Bereich der Eiweißversorgung auch in Zukunft ein wichtiges Forschungsgebiet mit Relevanz für Klima, Umwelt und Wirtschaftlichkeit. Hierbei wird es vor allem um Rohstoffsicherung, "neue" Eiweißfutter, thermische Aufbereitung, aber auch um die Umsetzung gehen. Für die Bewertung der Futtermittel und die Umsetzung in der Beratung bieten die Schnellbestimmung der Aminosäuren (AminoNIR) und deren Verfügbarkeit (AminoRed) wichtige Ansatzpunkte.

Kern der Betrachtung ist der gesamte Betrieb. Tierische Leistung, Produktqualität, Tierwohl, Emissionen, Nährstoffflüsse und die Ökonomie sind in Einklang zu bringen. Die Forschungsfragen resultieren dabei aus dem Wechselspiel zwischen Praxis, Beratung und Forschung.

### **3 Tierhaltung**

Die Änderung der politischen Rahmenbedingungen und der gesellschaftlichen Anforderungen sowie vor allem auch der technische Fortschritt führen dazu, dass sich die Verfahren in der Tierhaltung ständig weiter entwickeln. Die Tierhaltung steht vor der Herausforderung, die bestehenden Haltungsverfahren so zu verbessern, dass die artgemäßen Ansprüche der Tiere hinsichtlich der Tierwohl-Kriterien „Gute Ernährung“, „Gute Haltungsverhältnisse“, „Gute Gesundheit“ und „Artgemäßes Verhalten“ bestmöglich erfüllt werden. Gleichzeitig ist die Umweltbelastung (Treibhausgas-, Ammoniak-, Geruchsemissionen, ...) gering zu halten und eine wettbewerbsfähige Produktion zu ermöglichen. Zudem müssen die Arbeitsbedingungen für den Menschen verbessert werden. Eine tiergerechte Haltung ist auch eine Grundlage für eine hohe Produkt- und Prozessqualität.

#### **3.1 Tiergerechte Haltungsverfahren**

Die Entwicklung der Haltungsverfahren war in den letzten Jahrzehnten dadurch gekennzeichnet, dass sich die Gruppenhaltung bei allen Tierarten durchgesetzt hat und dass strohlose Haltungsverfahren mit Spaltenbodenaufstallung auf Grund des geringeren Arbeitszeitbedarfs zum Standard geworden sind. Der hohe Kostendruck und der Zwang zu niedrigen Baukosten haben dazu geführt, dass den Tieren nicht immer zufriedenstellende Haltungsverhältnisse angeboten wurden/werden. Um Verhaltensstörungen, Technopathien und Erkrankungen zu vermeiden, wird den Tieren zunehmend mehr Fläche, eine weichere Liegefläche (z. T. Stroheinstreu), Beschäftigungsmaterial etc. angeboten. Auch der Gesetzgeber hat dazu entsprechende Verordnungen erlassen (z. B. Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung), in denen die gesetzlichen Mindeststandards für die einzelnen Tierarten definiert wurden.

Vielfach wird angenommen, dass eine tiergerechte Haltung dann schon gegeben sei, wenn haltungstechnische Mindestanforderungen wie Platzangebot und dgl. eingehalten werden. Die Einhaltung ressourcenbezogener Mindestmaße oder -kriterien garantiert aber noch keine tiergerechte Haltungsumwelt. Vielmehr spielt auch das betriebliche Management (Fütterung, Tierbetreuung, Hygiene, Genetik, Technikwartung, ...) eine große Rolle. Außerdem hat die Mensch-Tier-Beziehung einen wesentlichen Einfluss auf die Tiergerechtigkeit, ebenso wie die Möglichkeit, die artgemäßen Verhaltensweisen ausüben zu können.

Da sich der Grad der Tiergerechtigkeit eines Haltungsverfahrens nicht allein anhand von Maßen bestimmen lässt, sind umfassendere Bewertungssysteme auf der Basis verschiedener Indikatoren zu verwenden, die ressourcen-, tier- und managementbezogene Kriterien



berücksichtigen (Blokhuys et al., 2013 [13]). Wissenschaft, Beratung, Praxis und Wirtschaft sind gefordert, entsprechende Bewertungssysteme zu entwickeln, die in der Praxis pragmatisch und ohne allzu großen Aufwand ermittelt werden können. Diese werden zur Betriebskontrolle, zur Schwachstellenanalyse im Rahmen der Betriebsberatung und zur Zertifizierung von Produktlabeln benötigt.

Die Optimierung unserer heutigen Haltungsverfahren in Richtung mehr Tiergerechtigkeit ist ein ständiger Prozess in mehr oder weniger kleinen Schritten, bei dem Forschung, Landwirte, Verbraucher und Industrie gleichermaßen gefordert sind. Im Besonderen ist es auch Aufgabe der Wissenschaft, bestehende Haltungsverfahren zu hinterfragen und zu versuchen, innovative Denkansätze anzugehen und losgelöst von den jetzigen Verfahren völlig neue Haltungskonzepte zu entwickeln und zu erproben.

### **3.2 Sensoren für die individuelle Tierüberwachung**

Die Haltung von Tieren in Gruppen und in immer größeren Beständen stellt eine große Herausforderung für die Tierüberwachung dar. Ziel muss eine umfassende Überwachung und bestmögliche Betreuung des Einzeltiers in der Gruppe sein. Dazu ist der unterstützende Einsatz von Sensoren notwendig. Aufgabe von Sensoren ist es, bestimmte Tierparameter zu erfassen und Abweichungen des Einzeltieres vom Normalzustand frühzeitig zu signalisieren, damit der Tierhalter im Sinne einer optimalen Tiergesundheit frühzeitig geeignete Maßnahmen ergreifen kann. Die Früherkennung von Krankheiten ist zeitaufwändig, weshalb sie im praktischen Betrieb häufig einen zu geringen Stellenwert einnimmt. Die Tatsache, dass beispielsweise in der Milchviehhaltung gegenwärtig mehr als 50 % aller Kuhabgänge durch Euter-, Klauen- und Gliedmaßenkrankungen sowie Unfruchtbarkeit (LKV Bayern, 2012 [8]) verursacht werden, ist unbefriedigend. Hier ist eine intelligente Technik gefordert, die mit geeigneten Sensorsystemen einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Tiergesundheit und der Betreuung des Einzeltiers leisten kann.

Aus Abbildung 1 geht beispielhaft für die Milchviehhaltung hervor, welche tierbezogenen Sensoren schon in der Praxis eingesetzt werden und welche sich noch im Entwicklungs-, Erprobungs- oder Markteinführungsstadium befinden. Die (Weiter)Entwicklung von kostengünstigen, zuverlässigen, robusten und langzeitstabilen Sensorsystemen konzentriert sich neben der Erfassung des Tierverhaltens hauptsächlich auf Parameter zur Überwachung der Tiergesundheit (Mastitis-, Stoffwechsel- und Gliedmaßenkrankungen) und der Fruchtbarkeit.

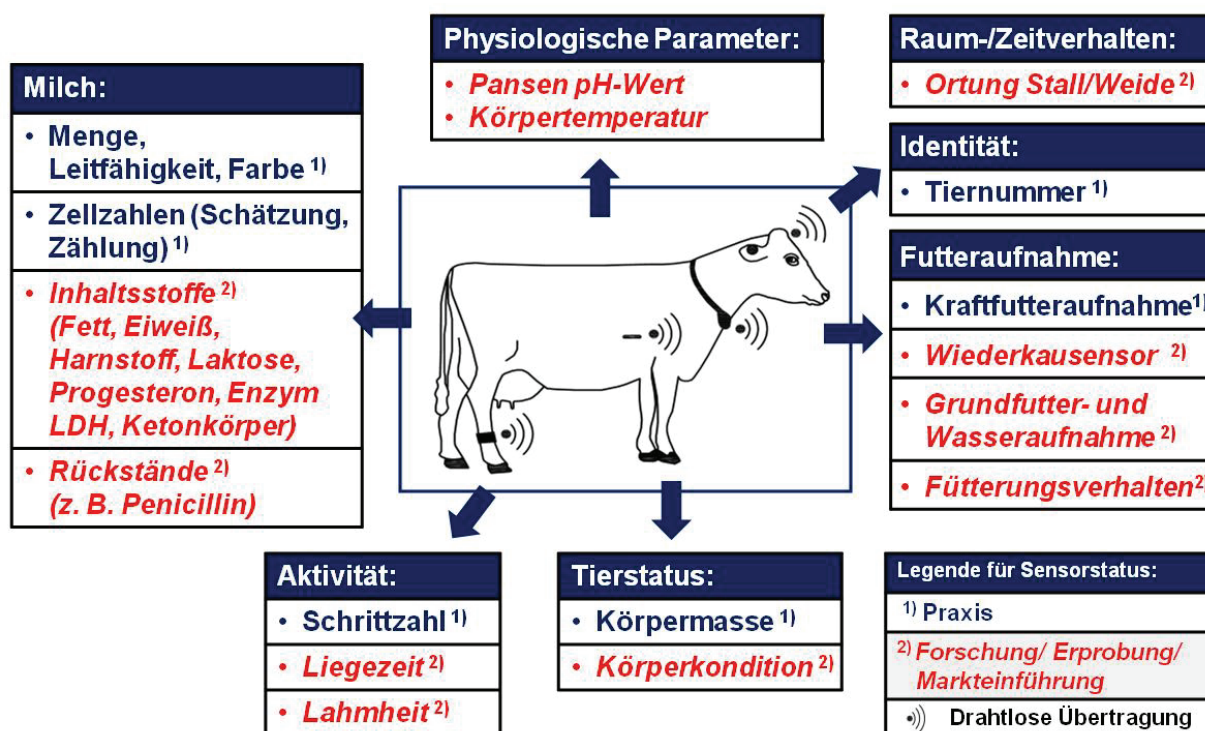


Abb. 1: Sensoren zur Tierüberwachung in der Milchviehhaltung und deren Entwicklungsstand

Eine neue Dimension in der Tierüberwachung eröffnet sich mit der Positionsbestimmung der Tiere im Stall und auf der Weide. Satellitengestützte Systeme zur Positionsbestimmung landwirtschaftlicher Maschinen werden in der Außenwirtschaft zur Navigation und lokalen Ertragsmittlung schon länger eingesetzt. Auch für die Weidehaltung versprechen Satelliten- und GIS-gestützte Systeme eine Verringerung des Überwachungsaufwandes sowie Verbesserungen im Weidemanagement. Innerhalb von Gebäuden ist diese Technologie zur Positionsbestimmung von Tieren allerdings ungeeignet. Deshalb werden derzeit verschiedene Entwicklungen vorangetrieben, um im Stall automatisch zu erfassen, wann welches Tier wo welche Aktivität wie lange ausführt. Damit wäre es möglich, nicht nur den Standort der Tiere im Stall für notwendige Behandlungsmaßnahmen leichter zu finden, sondern auch die Aufenthaltszeiten in den einzelnen Funktionsbereichen (Laufen/Stehen, Liegen, Fressen, Melken) automatisch zu erfassen und somit Abweichungen vom individuellen Normalzustand zu signalisieren. In der Forschung leisten derartige Systeme bereits wertvolle Dienste. Ein Einsatz im Praxisbetrieb wird möglich, wenn es gelingt, kostengünstige Systeme aus dem Industrie- oder Consumerbereich in die Landwirtschaft zu überführen.

Sensoren erzeugen ein großes Datenvolumen, das aber erst für operative Entscheidungen aufbereitet werden muss. Dafür sind benutzerfreundliche und umfassende rechnergestützte Herdenmanagementsysteme notwendig. Der absehbare Einsatz weiterer Sensoren führt zu immer leistungsfähigeren, aber auch komplexeren Systemen für die Tierüberwachung. Dazu gehörige Software muss gewährleisten, dass der Landwirt einen schnellen Überblick über den Zustand der Herde und des Einzeltieres erhält und dass Abweichungen vom Normal- oder Sollzustand auf einen Blick übersichtlich angezeigt werden. Damit kann die

Idee des Precision Livestock Farming, einzeltierbezogene Entscheidungen zu treffen und diese u.a. mit Hilfe der Prozesstechnik umzusetzen, effizient verwirklicht werden. Das PC-gestützte Herdenmanagement wird zunehmend auch durch mobile Computer (Handheld, Smartphone) ergänzt.

Aufgabe der Forschung ist es, zusammen mit der Industrie die geeignetsten Parameter für die Tierüberwachung zu definieren, sensitive Sensorsysteme und robuste Auswertelgorithmen zu entwickeln, zu erproben und zu optimieren sowie die Landwirte bei der Einführung dieser komplexen Systeme zu begleiten.

### **3.3 Automatisierung in der Tierhaltung**

Gerade die strenge zeitliche Bindung der Arbeitsabläufe und die ganzjährig durchzuführenden Arbeiten stellen eine große Belastung für die Landwirte dar. Nachdem allein mit der Mechanisierung der Arbeitsvorgänge keine wesentliche Verringerung des Arbeitszeitaufwands mehr erreicht werden kann, sind in einem weiteren Entwicklungsschritt Tätigkeiten, die bisher vom Menschen manuell meist zu definierten Zeiten erledigt werden, mehr und mehr von Maschinen autonom zu erledigen. Daher ist ein starker Entwicklungstrend in Richtung Automatisierung zu beobachten. Im Bereich der Arbeitswirtschaft wird durch die Automatisierung eine Reduzierung des Arbeitszeitbedarfs bei gleichzeitiger Flexibilisierung der Arbeit möglich, die Managementanforderungen und die psychische Belastung nehmen jedoch zu (Wendl, 2011 [14]). Durch die Entkopplung von den Arbeitszeiten des Menschen lassen sich hochautomatisierte Systeme stärker an den Bedürfnissen des Tieres ausrichten. So ist beispielsweise eine der Milchleistung angepasste Melkfrequenz möglich. Durch den höheren Auslastungsgrad der Anlagen im Vergleich zu den meisten mechanisierten Systemen entsteht außerdem die Möglichkeit, Sensoren kostengünstiger einzusetzen. Durch die höhere Auslastung kann es aber für das Tier auch zu Konkurrenzsituationen um die Technik kommen, die es zu minieren gilt.

Wie zuvor schon in der Schweine- und Geflügelhaltung gewinnt die Automatisierung zunehmend auch in der Milchviehhaltung an Bedeutung. Das automatische Melken ist inzwischen zu einem etablierten Melkverfahren geworden. Weltweit sind nach Schätzungen schon in mehr als 15.000 Betrieben Melkroboter in Form von Einboxen- oder Mehrboxenanlagen installiert. In Bayern ist aktuell jede zweite neue Melkanlage ein automatisches Melksystem. Der nächste Schritt ist die automatische Fütterung, dazu sind bereits die ersten Anlagen in Bayern installiert. Eine ähnliche Entwicklung wie beim automatischen Melken ist zu erwarten. Auf große Nachfrage stoßen in der Praxis auch Roboter zur Spaltenbodenreinigung, die wesentlich zur Steigerung der Tiersauberkeit und Stallhygiene beitragen.

Eine Herausforderung für die Forschung und Entwicklung wird die zunehmende Kopplung der verschiedenen Systeme darstellen. Wie auch im Bereich der Maschinen in der Außenwirtschaft bietet dieser Bereich ein großes Potenzial für neue Funktionen sowie zur Reduzierung und Vereinfachung der notwendigen Managementaufgaben. So könnte, um wieder ein Beispiel aus der Milchviehhaltung heranzuziehen, durch eine Kopplung von automatischer Fütterung mit automatischem Melken die Fütterung in Abhängigkeit von der aktuellen Milchleistung, von den tierindividuellen Milchinhaltsstoffen, vom Laktationsstadium, von der aktuellen AMS-Auslastung, von der aktuellen Tierzahl oder anderen Parametern gesteuert werden. Ein Standard für eine solche Kopplung existiert mit „ISOagriNET“ bereits, aber umfassende herstellerübergreifende, vernetzte Datenverbund-

systeme, auch mit den vorgelagerten und nachgelagerten Bereichen sowie mit der Beratung, sind noch zu entwickeln.

### Tierzucht

Die Tierzucht war in den vergangenen Jahren zahlreichen Veränderungen unterworfen, von denen die Einführung der genomischen Selektion sicherlich am augenfälligsten war. Daneben gibt es aber weitere Trends, die für die bayerische Tierzucht mindestens von ebenso großer Bedeutung sind bzw. sein werden. Hierzu gehören in erster Linie die Kommerzialisierung und die Internationalisierung der Tierzucht. Vom Ende des ersten Weltkriegs bis in die achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts engagierte sich der Staat in der Tierzucht und -produktion, weil die quantitativ ausreichende Versorgung der Bevölkerung mit tierischen Nahrungsmitteln im Vordergrund der Interessen stand. Dieses Ziel ist seit nunmehr über zwanzig Jahren erreicht und einige Länder haben diesen Sektor inzwischen dem freien Markt überlassen. Damit haben sie aber auch die politischen und gesellschaftlichen Einflussmöglichkeiten auf die Ziele, die Strukturen und die Berücksichtigung gesellschaftlicher Belange bei der Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft aufgegeben. Die Konsequenzen sind entweder ein dramatischer Rückgang der Tierzucht und damit die völlige Abhängigkeit vom globalen Markt (z.B. Großbritannien, Irland) oder eine starke Kommerzialisierung mit "bäuerlichen" Organisationen, die weltweit operieren und den Großteil ihres Geschäfts im Ausland abwickeln (Niederlande, USA).

Auch in Deutschland sind solche Tendenzen in Ansätzen zu beobachten. Länder wie Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen haben (vorwiegend aus Kostengründen) die Förderung der tierischen Erzeugung drastisch heruntergefahren, unter anderem mit der Konsequenz, dass beide Länder inzwischen keine Züchtervereinigungen für Schweine mehr aufweisen und die Regierungen Anfang 2013 darüber nachdachten, wie sie die unphysiologisch hohen Leistungen der dänischen Zuchtschweine im eigenen Land nachträglich begrenzen könnten. Weiterhin hat die Reform des Tierzuchtgesetzes im Jahr 2006 dazu geführt, dass sich kleinste Züchtervereinigungen bundesweit anerkennen lassen, auch wenn ihr "Zuchtprogramm" nur einige wenige Tiere umfasst und genetisch zum Misserfolg verurteilt ist. In der Folge beobachten wir eine zunehmende Kommerzialisierung sowohl in der Schweinezucht, die auf ähnlich Verhältnisse wie in der Geflügelzucht zusteuert (ohne die Rückversicherung, die die Tausenden von Rassegeflügelzüchtern bilden), als auch in der Rinderzucht, wo mittlerweile bei der Rasse Holsteins nur noch ein Platz in den Top 30 Besamungsbullen der Welt als Erfolgskriterium eines Zuchtprogramms zählt.

Andererseits gibt es auch international positive Entwicklungen. Mittlerweile haben alle Rinderzuchtorganisationen funktionale Merkmale und Langlebigkeit in ihre Zuchtziele aufgenommen und die vielfach belächelten Skandinavier, die die flächendeckende Erfassung von Gesundheitsmerkmalen gesetzlich vorgeschrieben hatten, gelten inzwischen als Avantgarde. Die Frage wiederum, ob auch das "Handling" der Tiere züchterisch verbessert werden soll, wird durchaus kontrovers diskutiert, weil Veränderungen des "natürlichen" Verhaltens durch Zucht auch missbräuchlich verwendet werden können.

## 3.4 Genotypen

### 3.4.1 Gensequenzen

Bereits kurz nach der genomischen Revolution steht die Tierzucht vor der nächsten großen Innovation, nämlich der direkten Nutzung von Sequenzinformationen. Dieser Quantensprung von derzeit rund 50.000 Markern zu mehr als 16 Mio. Markern wird durch zwei

Effekte beschleunigt. Zum einen sinken die Kosten für die (Re-)Sequenzierung eines Tieres exponentiell und zum anderen wissen wir heute, dass die Zahl der in einer Population vorkommenden Haplotypen endlich ist. Dies ermöglicht es, mit der Methode des Imputings (Pausch et al., 2013a [9]) die Sequenz eines "normalen" Zuchttieres auf der Basis einer relativ preiswerten Chipuntersuchung mit hoher Präzision hochzurechnen.

Diese Methode zeigt derzeit schon beeindruckende Erfolge bei der Erbfehlerbekämpfung (Pausch et al., 2013b [10]), aber ein generelles Konzept für die direkte Nutzung aller funktionalen Polymorphismen steht noch aus. Bereits in weniger als zehn Jahren werden wir für alle relevanten Zuchttiere über Sequenzinformationen verfügen, teilweise imputiert und teilweise aus einer direkten Sequenzierung.

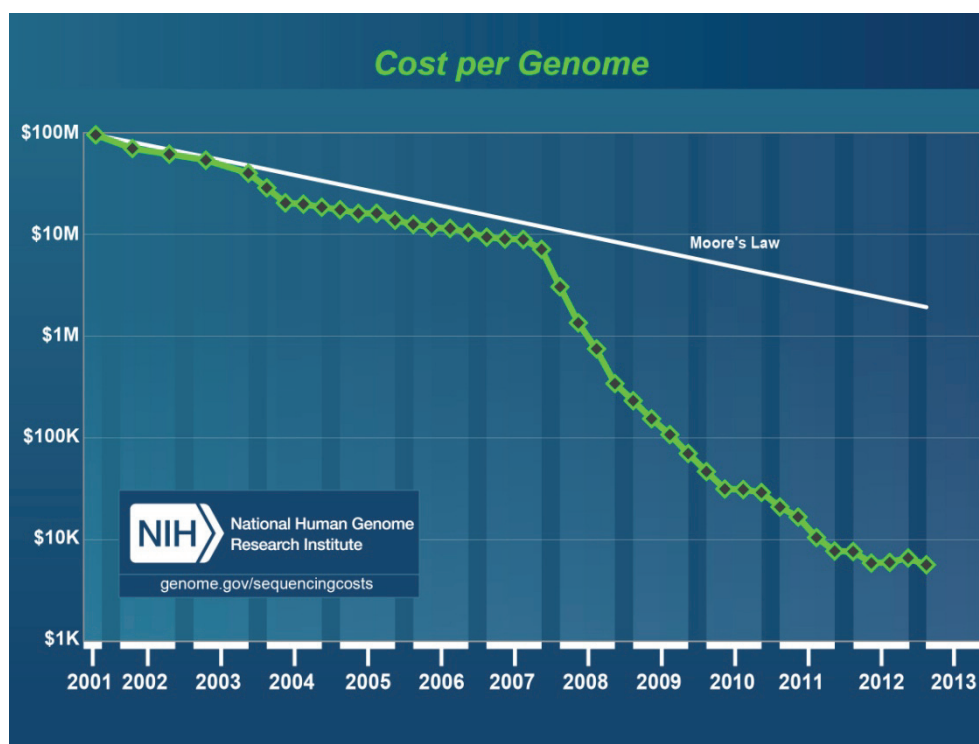


Abb. 2: Entwicklung der Sequenzierungskosten im Humanbereich (Quelle: <http://www.genome.gov/sequencingcosts/>)

### 3.4.2 Fortgeschrittene Techniken

Auch wenn die Sequenz zunächst als ein Endpunkt der Entwicklung erscheint, wissen wir bereits, dass für eine umfassende Modellierung des Phänotyps eines Tieres auch noch andere Faktoren von Bedeutung sind, die wir derzeit noch nicht erfassen. Für die (Grundlagen-) Forschung in der Tierzucht bedeutet das, dass die nächsten Stufen die Aufklärung epigenetischer Wirkungen bei Nutztieren und die praktische Nutzbarmachung der verschiedenen "-omics"-Techniken (Transcriptomics, Proteomics, Lipidomics, ...) sein werden. Bereits in der Vergangenheit haben die Versuchseinrichtungen der LfL für derartige Arbeiten wesentliche Unterstützung geleistet.

### 3.4.3 Konsequenzen

In der Folge der beschriebenen Entwicklungen wird die Genetik auch in Nicht-Zuchtbetriebe Einzug halten. Ein erster absehbarer Schritt wird die Phänotypvorhersage von Produktionstieren sein. Schon in wenigen Jahren wird man die Aufzuchtbarkeit und die Aufzuchtstrategie von Milchkühen anhand einer Genotypisierung im Kälberalter beur-

teilen. Auf Grund dieses Tests wird man die Aufzuchtintensität festlegen, einen Paarungspartner auswählen, der zum Leistungs- und Erbfehlerprofil des Jungtieres passt, spezifische Gesundheitsvorsorgemaßnahmen ergreifen und auch die Fütterung optimieren.

Die preiswerte "Massengenetik" wird auch noch andere Felder revolutionieren, insbesondere in Verbindung mit massentauglichen elektronischen Tierkennzeichnungsverfahren. Beispielsweise wäre es schon heute in Bayern möglich, alle Schweine elektronisch zu kennzeichnen und mit Hilfe elektronischer Reader ein komplettes Logbuch für jedes einzelne Schwein zu führen. Bei der Schlachtung könnte man dann durch die Genotypisierung einer kleinen Gewebeprobe die Abstammung des Tieres ermitteln und die Daten aus der Produktionsstufe somit im Nachhinein wieder für die Zucht erschließen.

Gleiches gilt für extensive Produktionsverfahren, wo heute noch die Aufzeichnungspflicht eine breitere Beteiligung an züchterischen Aktivitäten begrenzt. Denkt man diesen Prozess konsequent zu Ende, dann wird auch das Konzept von Züchtervereinigungen in Frage gestellt. Wozu benötigt man noch eine Herdbuchführung, wenn ich die Abstammung eines Tieres direkt „aus den Genen ablesen“ kann? Was spricht fachlich dagegen, eine hervorragende Zuchtsau aus einem Ferkelerzeugerbetrieb in die Zuchtstufe zu transferieren? Warum bleibt die Förderung zur Erhaltung gefährdeter Nutztierassen den Mitgliedern von Züchtervereinigungen vorbehalten? Mit diesen Herausforderungen im Sinne unserer Landwirte umzugehen wird noch erheblichen Forschungsaufwand verursachen.

### 3.5 Phänotypen

Die Fortschritte auf dem genetischen Sektor alleine können lediglich die bisherigen Tendenzen beschleunigen. Die von vielen Züchtern herbeigesehnten Verbesserungen in den „weichen“ Merkmalen Gesundheit, Verhalten, Handling und Langlebigkeit können damit aber nicht erreicht werden. Hierzu bedarf es der Erfassung umfangreicherer Phänotypen als bisher. Wir brauchen also mehr Leistungsprüfungen.

Dies wird durch zwei starke Trends erleichtert. Zum einen erlaubt es die zunehmende Automatisierung und die umfangreichere Ausstattung der Ställe mit Sensoren (vergl. 3.2), viele Merkmale in Zukunft automatisch bzw. durch den Betriebsleiter erheben zu lassen. Dies schafft Freiräume für die Erhebung neuer bzw. zusätzlicher Merkmale. Zum anderen machen es genomische Zuchtverfahren möglich, dass die Merkmalerhebungen für nicht preiswert automatisierbare Merkmale nicht mehr flächendeckend durchgeführt werden müssen, sondern auf einen Kern von intensiv überwachten Betrieben (mit repräsentativer Genetik und extrem hohem Technikeinsatz, vergl. 3.3) beschränkt werden. Die Kombination von Genomik, elektronischer Tierkennzeichnung, Sensorik und automatisierten Schnittstellen eröffnet zahlreiche neue Möglichkeiten und kann die Wünsche der Kunden an die Genetik besser erfüllen.

Erste Ansätze sind derzeit bereits auf dem Weg. So ist mit dem Projekt Pro Gesund ein Gesundheitsmonitoring für Rinder in Bayern auf den Weg gebracht worden. Die Erfahrungen in Österreich zeigen, dass damit eine züchterische Verbesserung der Tiergesundheit möglich wird (Egger-Danner et al., 2012 [4]). Andererseits zeigen aber auch die Erfahrungen in Bayern, dass die Probleme solcher Projekte heute weniger in der technischen Machbarkeit, als in den Bedenken der Betriebe vor einer Offenlegung kritischer Daten liegen. Ähnliches gilt für die Mid Infrared (MIR) Analysen von Milchproben. In diesem Bereich bieten sich derzeit viele interessante neue Auswertungsmöglichkeiten von der Tiergesundheit über die Fruchtbarkeit bis zu Fütterungsempfehlungen. Ob allerdings die

Landwirte auf eine solche Erweiterung der Nutzung „ihrer“ Informationen immer positiv reagieren werden, muss sich erst noch zeigen.

In diesem Zusammenhang muss auch darauf hingewiesen werden, dass züchterisch nutzbare Daten auch nutzbar gemacht werden sollten. Ein klassisches Beispiel ist die HIT-Datenbank, die züchterisch ein unschätzbar wertvolles Potenzial bietet, das aber derzeit nur äußerst unzureichend genutzt wird. Es ist zu befürchten, dass mit der Einrichtung einer Antibiotika-Datenbank ein ähnlicher Weg beschritten wird. Die züchterische Nutzung solcher Daten kann in den allermeisten Fällen ohne die Verwendung personenbezogener Daten geschehen und sie sollte im Interesse gesunder Tiere so schnell wie möglich generell erlaubt werden.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Tierernährung hat nach wie vor eine Schlüsselposition für Kosten, Umweltbelastung und Tierwohl inne. Hierbei konzentrieren sich die Fragestellungen in der Futterwirtschaft auf die Vermeidung von Verlusten, die effiziente Nutzung des Grünlands und die Nutzung heimischer Eiweißträger. In der Rinderfütterung sind Fragen der Strukturbewertung und –versorgung von hoher Bedeutung. Versorgungsempfehlungen müssen den steigenden Leistungsniveaus in immer kürzerer Zeit angepasst werden, dabei werden zunehmend auch Spätwirkungen von Ernährungsmaßnahmen eine Rolle spielen. In der Schweinefütterung stehen zahlreiche Fragestellungen zur Unterstützung von Tierwohlverbesserungen an, ebenso wie die Entwicklung von Strategien zur Verminderung des Antibiotikaverbrauchs und der Optimierung der Umweltwirkung. Der sachgerechte Einsatz von sich stets verändernden Nebenprodukten bleibt ein wichtiges Forschungsfeld.

Im Bereich der Tierhaltung eröffnen optimierte Haltungssysteme sowie der Einsatz neuer Technologien und Sensoren neue Möglichkeiten zur Reduzierung der Arbeitsbelastung und zur stärkeren Berücksichtigung der Bedürfnisse des Einzeltiers. Sie stellen eine große Chance dar, erfordern aber auch eine umfassende wissenschaftliche Begleitung. Nur so können zukünftig die Aspekte des Tierwohls, der Ökonomie, der Umwelt und des arbeitenden Menschen sowie die gesellschaftliche Akzeptanz bestmöglich in Einklang gebracht werden.

Die Tierhaltung steht vor der Herausforderung, tiergerechtere Haltungsverfahren, die häufig freigelüftete Ställe, Außenklima und Auslauf bedeuten, mit einer Verminderung der Emissionen wachsender Tierhaltungsanlagen in Einklang zu bringen. Dabei soll sie gleichzeitig die Freiräume schaffen, dass sich die Tierhalter intensiver mit der Tierbeobachtung und -betreuung befassen können. Die Automatisierung in der Tierhaltung wird daher weitergehen und es kommt darauf an, dass die Ansprüche der Tiere in automatisierten Systemen ebenso gut, wenn nicht besser, erfüllt werden als in den bisherigen Haltungsformen.

In der Tierzucht deuten sich durch neue Methoden eine zunehmende Dynamik und großartige Chancen an. Die unmittelbare Nutzung genomischer Informationen wird auch in normalen Produktionsbetrieben alltäglich werden und zahlreiche neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Produktivität und des Tierwohls ermöglichen. Die beschriebenen Tendenzen bergen aber auch die Gefahr, dass die Tierzucht bei Rindern und Schweinen bäuerlichen Händen entgleitet und von international operierenden Konzernen dominiert wird. Es besteht daher nach wie vor ein öffentliches Interesse an einer Steuerung der Tierzucht

(und –haltung), gerade dann, wenn sich dieses mehr und mehr auf Bereiche wie Tierschutz und Tierwohl konzentriert. Ausländische Unternehmen, die in Deutschland nur ihre Zuchtprodukte vertreiben, wird man nur schwerlich in ihrer züchterischen Ausrichtung beeinflussen können.

Die Bearbeitung der Themen erfordert eine zunehmend übergreifende Vorgehensweise. Dies betrifft die verschiedenen Disziplinen und die Verbindung von mehr grundlegender und anwendungsorientierter Forschung. Für die angewandte Forschung ist die Umsetzung ihrer Ergebnisse in konkrete Praxisanwendungen ein wichtiger Gradmesser des Erfolgs.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Grünewald, K.-H.; W. Staudacher (2013): Forschungsbedarf und geplante Aktivitäten – Auswertung der Fragebögen zur Schweinefütterung. in: Tagungsunterlage „Forum angewandte Forschung“ 09./10.04.2013, Fulda, 120 – 125
- [2] DAFA Steuerungsgruppe Fachforum Nutztiere (2012): Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – Gemeinsam für eine bessere Nutztierhaltung, ISBN 978-3-86576-090-6
- [3] Edmunds, B.; K.-H. Südekum; R. Bennet; A. Schröder; H. Spiekers; F.J. Schwarz (2013): The amino acid composition of rumen undegraded dietary crude protein: a comparison between forages. *Journal of Dairy Science* zur Veröffentlichung angenommen 03/2013
- [4] Egger-Danner, C; Fürst-Waltl, B.; Obritzhauser, W.; Koeck, A.; Grassauer, B.; Janacek, R. (2012): Recording of direct health traits in Austria—Experience report with emphasis on aspects of availability for breeding purposes. *J Dairy Sci* 95:2765
- [5] FAO (2012): Impact of animal nutrition on animal welfare - Expert Consultation 26-30 September
- [6] FAO (2011): Headquarters Rome, Italy. *Animal and Health Report*. No. 1 Rome, 40 pages
- [7] Isermeyer, F (2003): Neuorientierung der Agrarforschung im Spannungsfeld von gesellschaftspolitischen Anforderungen und wissenschaftlichem Erkenntnisfortschritt. *LfL-Schriftenreihe* 1/03: 11-22
- [8] LKV Bayern (2012): Leistungs- und Qualitätsprüfung in der Rinderzucht in Bayern 2011.
- [9] Pausch, H.; Aigner, B.;H.; Emmerling, R.; Edel, C.; Götz, K.-U.; Fries, R. (2013a): Imputation of high-density genotypes in the Fleckvieh cattle population. *Genetics Selection Evolution*, 45:3
- [10] Pausch, H.; Wurmser, C.; Schwarzenbacher, H.; Emmerling, R.; Fürst, C.; Trottmann, M.; Jansen, S.; Götz, K.-U.; Kölle, S.; Fries, R. (2013b): A nonsense mutation in TMEM95 encoding a nondescript transmembrane protein causes idiopathic male subfertility in cattle (submitted to BMS)
- [11] Rodehutscord, M.; K.-H. Südekum (2010): Herausforderungen und Anregungen für die angewandte Forschung. in: Tagungsunterlage „Forum angewandte Forschung“ 24./25.03.2010, Fulda, 6 – 9



- 
- [12] Staudacher, W.; K.-H. Grünwald (2013): Forschungsbedarf und geplante Aktivitäten – Auswertung der Fragebögen zur Rinderfütterung. in: Tagungsunterlage „Forum angewandte Forschung“ 09./10.04.2013, Fulda, 48 – 54
- [13] Blokhuis, H., Miele, M., Veissier, I. and Jones B. (2013): Improving farm animal welfare Science and society working together: the Welfare Quality approach. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 2013 (ISBN: 978-90-8686-216-0)
- [14] Wendl, G. (Hrsg.) (2011). Tierhaltung in Bayern – Quo vadis? Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, 7/2011: 76 S.



---

# Anthracnose bei Rotklee: Ansätze zur Züchtung resistenter Sorten

Irene Jacob<sup>1)</sup> und Stephan Hartmann<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz,  
Lange Point 12, 85354 Freising

<sup>2)</sup> LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 4,  
85354 Freising

Irene.Jacob@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Der Rotkleeanbau in Deutschland könnte künftig durch eine Pilzkrankheit, der Anthracnose, erschwert werden. Um den Anbau weiterhin zu sichern, wurden die in Deutschland zugelassenen Rotkleesorten hinsichtlich ihrer Resistenz gegen die Krankheit in einer Prüfung im Gewächshaus evaluiert. Weiterhin wurde untersucht, ob man mit dem Verfahren der rekurrenten Selektion eine Anhebung des Resistenzniveaus bestehender Populationen erreichen kann. Zudem wurden molekulare Markeranalysen durchgeführt, die die Basis künftiger Züchtung durch markergestützte Selektion (MAS) bilden können.

## Summary

Southern Anthracnose, a disease of forage legumes caused by a fungus, could be a threat to red clover cultivation in Germany. To sustain the cultivation of red clover, varieties listed in Germany were evaluated concerning their resistance to the disease in a test in the greenhouse. Furthermore, the method of recurrent selection was analysed to be a suitable approach to improve resistance. Molecular marker analyses were conducted to provide a basis for future breeding using marker assisted selection (MAS).

## 1 Einleitung

Rotklee nimmt vor allem im ökologischen Landbau eine wichtige Rolle als Stickstofffixierer im Bereich der Fruchtfolge, aber auch als Proteinquelle für viehhaltende Wiederkäuerbetriebe ein. Besonders in Bayern, wo rund ein Drittel der Rotkleesaatgutvermehrung des Bundesgebietes stattfindet, ist ein beachtlicher Anbau entweder als Rein- oder als Mischanbau mit Gräsern zu finden.

Zunehmend kann das Auftreten der Anthracnose, einer samenbürtigen Krankheit an Futterleguminosen, die durch den Pilz *Colletotrichum trifolii* hervorgerufen wird, beobachtet werden. In Feldversuchen und in Zuchtgärten sind durch *C. trifolii* bereits erhebliche Ausfälle von Rotkleepflanzen beobachtet worden.

Die aussichtsreichste Strategie zur Vermeidung einer Ausbreitung der Krankheit bzw. zur Eindämmung im Falle eines gehäuften Auftretens auf Praxisflächen ist der Einsatz resistenter Sorten (Taylor 1985 [1], Boller et al. 1998 [2]). Ziele dieser Untersuchungen waren neben der Identifizierung resistenten Sortenmaterials auch die Erzeugung von neuem resistentem Material für die Züchtung sowie die Generierung von mit der Resistenz gekoppelten molekularen Markern.

## 2 Material und Methoden

Die Untersuchungen basieren auf dem modifizierten Gewächshausresistenztest nach Schubiger et al. 2003 [3] (Jacob et al. 2010 [4]).

Die Methode der rekurrenten Selektion wurde zur Verbesserung der Anthracnoseresistenz bereits bestehender Rotkleearten eingesetzt. Hierzu wurden überlebende Teilpopulationen ausgewählter Sorten aus der Prüfung im Gewächshaus ins Freiland gepflanzt. Es wurden jeweils 96 Pflanzen einer Ausgangspopulation unter einem Isolierzelt mit Hilfe von Hummeln sortenrein vermehrt. Nach ihrer Ernte wurden die so gebildeten nachfolgenden Generationen zusammen mit Pflanzen der Elternpopulation im Resistenztest geprüft. Dieser Zyklus wurde zweimal wiederholt.

Für die Markeranalysen wurden spaltende Populationen erzeugt, indem resistente mit anfälligen Rotkleepflanzen unter Isolierkäfigen im Gewächshaus paarweise durch Hummeln bestäubt wurden. Die so erzeugten F1-Generationen wurden durch den Resistenztest phänotypisch als resistent oder anfällig bewertet. Für die genetischen Analysen mittels einer Bulk Segregant Analysis (BSA) wurden je F1-Population gepoolte Proben, die aus gefriergetrocknetem Blattmaterial stammten, welches vor dem Resistenztest entnommen wurde, erstellt. Für die jeweiligen Populationen wurden fünf bis dreizehn Pflanzen zu acht bis dreizehn anfälligen bzw. resistenten Pools zusammengefasst. Das NucleoSpin® 96 Plant II Kit von Macherey-Nagel wurde zur DNA-Isolation aus den Pools verwendet. Die Konzentrationsbestimmung der DNA erfolgte mit einem NanoDrop1000.

Es wurden 108 SSRs (Simple Sequence Repeats, Herrmann et al. 2006 [5], Kölliker et al. 2006 [6], Herrmann et al. 2008 [7]) und 64 SRAPs (Sequence Related Amplified Polymorphisms, Zhang et al. 2011 [8]) verwendet. Mit einem ABI 3100XL Sequencer wurden die PCR-Produkte aufgetrennt, deren Analyse erfolgte mit dem Programm GeneMarker® V1.91 von SoftGenetics®.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse zum Sortenranking in Deutschland zugelassener Rotkleearten hinsichtlich der Anthracnoseresistenz sind bereits veröffentlicht (Jacob et al. 2010 [4]).

Die Untersuchungen zur Verbesserung des Resistenzniveaus durch rekurrente Selektion zeigten nach zwei Zyklen im Mittel der geprüften Populationen eine Erhöhung um 17 bzw. 26 Prozentpunkte der ersten bzw. zweiten Folgegeneration im Vergleich zur Ausgangspopulation (Abb. 1). Die größten Zunahmen der Resistenz erfolgten bei den beiden Sorten Lucrum und Kvartha, deren Ausgangspopulationen die geringste Resistenz aufwiesen. Hingegen ist bei der Sorte Pavo, bei der die Ausgangsresistenz bereits bei 83 % überlebender Pflanzen lag, nur eine tendenzielle Steigerung zu beobachten. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits nach einem Zyklus der rekurrenten Selektion eine Steigerung der Re-

sistenz möglich ist. Allerdings ist auch bei einem sich anschließenden zweiten Zyklus noch eine Anhebung des Resistenzniveaus zu erwarten. Beispielsweise zeigte die Sorte Kvarta erst nach dem zweiten Zyklus eine deutliche Verbesserung in dem Merkmal.

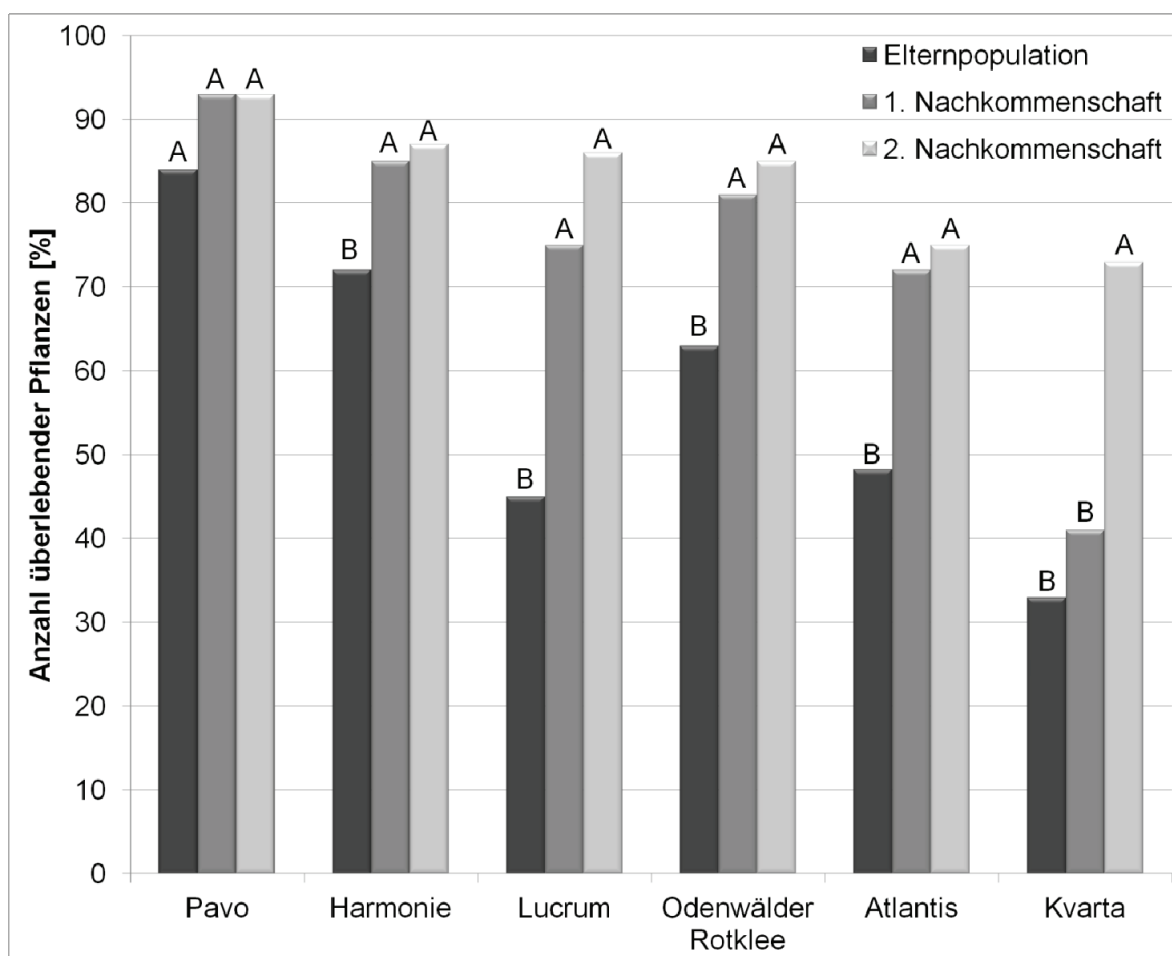


Abb. 1: Anzahl überlebender Pflanzen nach zwei Zyklen rekurrenter Selektion. Mittelwertvergleich verschiedener Generationen innerhalb der Selektionspopulation, gleiche Buchstaben zeigen nicht-signifikante Unterschiede, Simulate-Test,  $P < 0,05$ .

Bei der genetischen Analyse der im Merkmal „Anthracnosresistenz“ spaltenden Populationen wurde bei einem der insgesamt 108 getesteten SSR-Marker eine enge Kopplung festgestellt. Hierzu dauern die Untersuchungen hinsichtlich der Kartierung des Markers noch an.

#### 4 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen lässt sich ableiten, dass für den Anbau in Deutschland Sorten gelistet sind, die eine Resistenz gegen *C. trifolii* aufweisen.

Außerdem wurde gezeigt, dass sich die Anthracnoseresistenz einer Rotkleepopulation durch die Methode der rekurrenten Selektion erheblich steigern lässt.

Ein eng mit der Resistenz gekoppelter genetischer Marker wurde identifiziert.

Die Förderung des Forschungsvorhabens erfolgte aus Mitteln des BÖLN unter dem FKZ 2806OE161.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Taylor N. L. (ed.) (1985): Clover science and technology. Amer. Soc. Agron. Madison, WI.
- [2] Boller B., Bigler P., Bucanovic I., Bänziger I. (1998): Southern Anthracnose – a new threat for red clover persistence in cooler regions? In: Boller B., Stadelmann F.J. (eds): Breeding for a Multifunctional Agriculture. Proc. 21st Meet. Fodder Crops and Amenity Grasses Section of EUCARPIA, Switzerland, 195-198.
- [3] Schubiger F.X., Streckeisen P., Boller B. (2003): Resistance to Southern Anthracnose (*Colletotrichum trifolii*) in Cultivars of Red Clover (*Trifolium pratense*). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 39 (Special Issue), 309-312.
- [4] Jacob I., Hartmann S., Schubiger F.X., Struck C. (2010): Genetic diversity of red clover varieties listed in Germany concerning the resistance to Southern Anthracnose. Grassland Science in Europe, Vol. 15, 344-346.
- [5] Herrmann D., Boller B., Studer B., Widmer F., Kölliker R. (2006): QTL analysis of seed yield components in red clover (*Trifolium pratense L.*). Theor Appl Genet 112, 536-545.
- [6] Kölliker R., Enkerli J., Widmer F. (2006): Characterization of novel microsatellite loci for red clover (*Trifolium pratense L.*) from enriched genomic libraries. Molecular Ecology Notes 6, 50-53.
- [7] Herrmann D., Boller B., Studer B., Widmer F., Kölliker R. (2008): Improving Persistence in Red Clover: Insights from QTL Analysis and Comparative Phenotypic Evaluation. Crop Science, Vol. 48, 269-277.
- [8] Zhang F., Chen S., Chen F., Fang W., Chen Y., Li F. (2011): SRAP-based mapping and QTL detection for inflorescence-related traits in chrysanthemum (*Dendranthema morifolium*). Mol Breeding 27, 11-23.

# Vergleich der Verfahrenstechnik zur Sojaaufbereitung

Stefan Thurner<sup>(1)</sup>, Robert Zeindl<sup>(2)</sup>, Ludwig Asam<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> LfL, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising

<sup>(2)</sup> Technische Universität München, WZW, Lehrstuhl für Tierernährung, Alte Akademie 1, 85354 Freising

<sup>(3)</sup> Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL Deutschland e.V., Kasseler Straße 1a,  
60486 Frankfurt

Stefan.Thurner@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Der Anbau von Sojabohnen gewinnt in Bayern immer mehr an Bedeutung. Rohbohnen aus bayerischem Anbau wiesen signifikant höhere Rohproteingehalte und niedrigere Fettgehalte auf als Ware anderweitiger Herkunft. Damit die Sojabohnen als Eiweißfutter v.a. für Monogastriden genutzt werden können, ist eine Hitzebehandlung zur Reduktion der antinutritiven Substanzen notwendig. Dazu stehen in Bayern vier dezentrale Aufbereitungsanlagen zur Verfügung. Zwei davon nutzen die thermische Aufbereitung, bei der die Sojabohnen kurzzeitig hoher Hitze (direkte Gasflamme oder indirekte Infrarotstrahlung) ausgesetzt werden. Das hydrothermische Verfahren setzt Wasserdampf ein, der über längere Zeit in einem Dämpfbehälter auf die Sojabohnen einwirkt. Neben Wasserdampf wirken beim druckthermischen Verfahren zusätzlich kurzzeitig hohe Temperaturen auf die Sojabohnen ein, die in einem Expander durch Reibung und Druck erzeugt werden. Beim Vergleich der Aufbereitungsverfahren ergaben sich sowohl bei verschiedenen Aminosäuren, als auch bei den Parametern für eine adäquate Hitzebehandlung (u.a. Trypsininhibitoraktivität (TIA) und Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH)) keine signifikanten Unterschiede. Signifikante Unterschiede konnten im Vergleich mit Sojaextraktionsschrot (SES) ermittelt werden, wobei SES bei TIA und KOH bessere Werte aufwies. So zeigten ein Drittel der Proben aus den dezentralen Aufbereitungsanlagen kritische TIA Werte und gleichzeitig hatten zwei Drittel der Proben zu hohe KOH Werte. Beides deutet darauf hin, dass die Hitzebehandlung noch intensiver durchgeführt werden sollte.

## Summary

The cultivation of soybeans in Bavaria gains in importance. Bavarian soybeans showed significantly higher protein and significantly lower fat after harvesting compared to soybeans from other regions. In order to use soybeans as a protein component particularly in feed for monogastrics, a heat treatment for the reduction of anti-nutritional components is necessary. Therefore four local processing plants are available in Bavaria. Two of them use a thermal treatment where the soybeans are exposed to high heat (direct gas flame or indirect infrared radiation) for a short duration. The hydrothermal treatment uses steam which reacts on the soybeans for a longer period of time. Besides steam the pressure-thermal treatment additionally has an expander treating the soybeans with high temperatures for a short time through friction and pressure. Comparing the three treatments, no significant differences could be found for several amino acids as well as for the parameters

used to indicate an appropriate heat treatment (inter alia trypsin inhibitor activity (TIA) and protein solubility in potassium hydroxide solution (KOH)). Significant differences could be found compared to extracted soybean meal, whereas extracted soybean meal had better results for TIA and KOH. More than a third of the samples from the local processing plants showed critical TIA values and more than two thirds had too high KOH values. Both indicate the necessity of a more intensive heat treatment.

## 1 Einleitung

Der heimische Sojaanbau in Bayern gewinnt an Aufmerksamkeit. Sowohl Aufgrund der EG-Öko-Verordnung, die in absehbarer Zeit eine hundertprozentige Biofütterung im ökologischen Landbau vorschreibt, als auch durch das Erstarben von Regionalmarken wie z.B. „Unser Land“, die in der Regel auch dem zunehmenden Verbraucherwunsch nach rück-verfolgbaren Lebensmitteln ohne gentechnisch veränderte Organismen entsprechen sowie durch das Aktionsprogramm „Heimische Eiweißfuttermittel“ ist die Anbaufläche in Bayern auf zeitweise mehr als 3.000 ha gestiegen [1]. Dem gegenüber steht die Aussage, dass die weltweite Arbeitsteilung in der Agrarwirtschaft beibehalten werden muss und am jeweils günstigsten Standort die Kultur mit der höchsten Ökoeffizienz angebaut werden soll. In Europa sind dies u.a. Getreide, Raps und Mais, jedoch nicht Sojabohnen, deren Ökoeffizienz in Südamerika unter den dort gegebenen klimatischen Bedingungen höher ist [2]. Neben vielen offenen Fragen zum Anbau und zur Kulturführung sind auch die Qualität bayerischer Sojabohnen und die Einflüsse verschiedener Verarbeitungsschritte auf die wertgebenden Inhaltsstoffe noch nicht ausreichend geklärt. Aufgrund ihrer antinutritiven Inhaltsstoffe, wie z. B. Proteaseinhibitoren und Lektinen, bedarf die Sojabohne einer ausreichenden Hitzebehandlung zu deren Inaktivierung. Bei einer zu starken Erhitzung kann jedoch beispielsweise die Lysinverfügbarkeit durch die sogenannte Maillardreaktion herabgesetzt werden was schließlich zu einer schlechteren Futtermittelverwertung vor allem bei Monogastriden führt [3].

Global gesehen wird gegenwärtig der mit Abstand größte Teil der jährlichen Sojaernte in großen Hexanextraktionsanlagen verarbeitet. Es handelt sich dabei um ein effizientes Verfahren bei dem bis zu 99 % des in der Sojabohne enthaltenen Öls extrahiert wird. Extraktionsanlagen sind teuer und erfordern zum wirtschaftlichen Betrieb einen hohen technologischen Kenntnisstand und eine gewisse Verarbeitungskapazität, die in der Regel über 500 t pro Tag liegt. Die hohe Verarbeitungskapazität zusammen mit dem Betriebsablauf in großen Ölmühlen stehen im Widerspruch zu dem geringen Anbauumfang und somit kleinen Erntemengen von Sojabohnen in Bayern und den umliegenden Ländern. Aus diesem Grund entstanden in Bayern kleinere, dezentrale Soja-Aufbereitungsanlagen, die es dem Landwirt ermöglichen, seine eigene Ernte über eine Hitzebehandlung und ggf. mechanische Entölung aufbereiten zu lassen. Die Anlagenkonzepte reichen dabei vom „toasten“ einer Vollfettbohne mit offener Flamme bis hin zu einer industriellen Sojaaufbereitung in großem Stil inklusive einer nahezu vollständigen „Hexan-Ölextraktion“ mit einer anschließenden Hitzebehandlung in einem „Dampfgegenstromverfahren“ zur schonenden Inaktivierung von antinutritiven Faktoren im benachbarten Österreich. Bei den Endprodukten aus bayerischer Aufbereitung handelt es sich entweder um vollfette Sojabohnen oder um teilentölten Sojakuchen mit einem Restfettgehalt von 8 - 13 %. Diese Gegebenheit macht einen direkten Vergleich mit Sojaextraktionsschrot (SES) aus Übersee sehr schwierig, da die Unterschiede im Fettgehalt auch Auswirkungen auf den Proteingehalt und andere wertgebende Komponenten haben. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich



daher auf die Überprüfung der sachgemäßen Inaktivierung der antinutritiven Faktoren, die entkoppelt vom Fettgehalt betrachtet werden können.

## 2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens war die verfahrenstechnische Dokumentation der verschiedenen Sojaaufbereitungsanlagen in Bayern. Es wurde untersucht, wie die einzelnen Anlagenkonzepte und Prozessabläufe die Qualität der heimischen Sojafuttermittel mitbestimmen. Dafür wurde sowohl die Qualität der Rohbohne als auch die Qualität der aufbereiteten Sojabohnen bzw. des aufbereiteten Sojakuchens anhand umfangreicher Analysen von den Rohnährstoffen bis zur Aminosäurezusammensetzung, der Fettzusammensetzung, der antinutritiven Inhaltsstoffe und möglicher Hitzeschädigungen untersucht. Des Weiteren wurden die Produkte aus heimischer Verarbeitung mit importiertem SES bezüglich der antinutritiven Inhaltsstoffe und möglicher Hitzeschädigungen verglichen. Anhand der folgenden Hypothesen wurde das Projekt durchgeführt: (1) Die Endprodukte aus den verschiedenen Verfahren zur Aufbereitung von Sojabohnen unterscheiden sich nicht bezüglich der wertgebenden Inhaltsstoffe für die Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere, (2) Der Standort für den Anbau von heimischem Soja führt nicht zu Unterschieden bei wertgebenden Inhaltsstoffen und diese sind identisch mit SES.

## 3 Material und Methoden

In den vier bayerischen Sojaaufbereitungsanlagen werden im Prinzip drei verschiedene Aufbereitungsverfahren angewendet (Tab. 1). Dabei werden in der Regel bayerische Sojabohnen verarbeitet, jedoch auch Importware, meist aus Österreich und Italien.

Tab. 1: Anlagenkonzepte und Produkte bei den vier Aufbereitungsanlagen in Bayern

| Anlagen-bez.   | Thermisch I (T)  | Thermisch II (T)   | Hydrothermisch (HT)   | Druckthermisch (DT)   |
|----------------|--|--|---|---|
| Anlagenkonzept | Ganze Sojabohnen werden angefeuchtet und in Trommel mit direkter Befeuerung (300 °C direkt nach der Flamme, 260 °C am Trommelausgang) kurzzeitig auf 110 - 115 °C erhitzt. | Ganze Sojabohnen werden angefeuchtet und in Trommel mit indirekter Hitzeeinwirkung (Keramik wird von Gasflamme auf 900 °C erhitzt) kurzzeitig über ca. 40 s auf rund 110 °C erhitzt. | Ganze Sojabohnen werden mit Wasserdampf (103 °C) vermischt und anschließend über längere Zeit (40 min) in einem Thermoreaktor der Hitze ausgesetzt, bevor sie flockiert werden. | Geschrotete Sojabohnen werden (10 min) mit Wasserdampf (102 °C) gedämpft bevor sie mit einem Expander extrudiert werden (1 – 5 s Hitzeeinwirkung von 125 - 145 °C). |
| Entölung       | Keine Entölung   | Keine Entölung   | Ggf. Entölung nach hydrothermischer Aufbereitung über Schneckenpressen  | Ggf. Entölung vor druckthermischer Aufbereitung über Schneckenpressen   |

| Anlagen-bez. | Thermisch I (T)  | Thermisch II (T)   | Hydrothermisch (HT)   | Druckthermisch (DT)  |
|--------------|--|--|---|--|
| Produkte     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Getoastete Vollfettbohne</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Getoastete Vollfettbohne</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geflakte Vollfettbohne</li> <li>• Teilentölter Sojakuchen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschrotete Vollfettbohne</li> <li>• Teilentölter Sojakuchen</li> </ul> |

Im Folgenden werden die Hauptkomponenten der drei Aufbereitungsverfahren beschrieben. Bei der thermischen Aufbereitung werden die Sojabohnen vor dem Einbringen in die Trommel angefeuchtet und dann je nach Verfahrenstyp in der direkten Flamme (Abb. 1) oder indirekt mit Infrarotstrahlung nach dem „High-Temperature-Short-Time- (HTST-) Prinzip“ geröstet. In der leicht schräg zur Horizontalen geneigten Trommel werden die Sojabohnen mittels fächerartigen Schaufeln durch die Trommeldrehung kontinuierlich nach oben befördert und fallen über den gesamten Trommelquerschnitt aufgefächert wie ein Schleier zurück auf den Trommelboden; hierbei passieren sie die Hitzequelle. Im Anschluss erfolgt eine Kühlung mit Außenluft auf Außentemperatur mittels Dächerfachkühler und ggf. eine Wiederbefeuchtung. Die Schwierigkeit für die Anlagenbetreiber besteht darin, eine immer gleiche Intensität der Hitzebehandlung zu gewährleisten und somit zu verhindern, dass der äußere Teil der Bohne überbehandelt und der Kern unterbehandelt wird. Dazu müssen die Bearbeitungsparameter wie Verweildauer und Temperatur je nach Rohbohnenbeschaffenheit laufend angepasst werden.

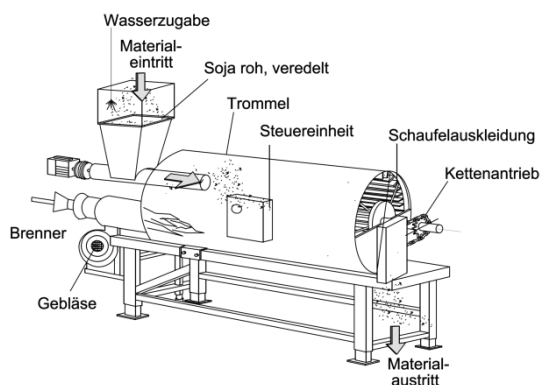


Abb. 1: Schemazeichnung eines mobilen Trommelrösters mit direkter Befuerung

Bei der hydrothermischen Aufbereitung (Abb. 2 links) werden die ganzen Rohbohnen in einem kontinuierlichen Durchlaufverfahren zunächst in einem Runddämpfer mittels Düsenrührwerk mit Wasserdampf vermischt. Der Dampf wird dabei durch eine Hohlwelle mit „Fingern“ direkt in das Produkt eingearbeitet, wobei die Dampfdüsen auf den „Fingern“ angeordnet sind und gleichzeitig eine Homogenisierung gewährleisten (Abb. 2 Mitte). Anschließend verbleiben die Bohnen über rund 40 Minuten in einem isolierten Dämpfbehälter in dem der Wasserdampf weiter in die Bohnen einkocht. Dabei kommt es zu einer Verkleisterung der Stärke und zu einer signifikanten Inaktivierung der hitzelabilen antinutritiven Substanzen. Aus dem Dämpfbehälter gelangen die Bohnen direkt in den 1 m breiten Walzstuhl der sie flockiert, bevor sie im Wirbelschichttrockner schonend getrocknet und abgekühlt werden.

Bei der druckthermischen Aufbereitung werden die Sojabohnen in einem kontinuierlichen Durchlaufverfahren mit Dampf, Feuchtigkeit, Temperatur und Druck nach einem exakten

Zeitplan behandelt (Abb. 2 rechts). Zunächst werden die Bohnen geschrotet und dann in einem Konditionierer mit Wasser und Wasserdampf für rund 30 s vorbehandelt, wodurch eine klumpenfreie Vermischung und Erhitzung auf maximal 95 °C erfolgt. Anschließend gelangt das vorbehandelte Material in den hydrothermischen Reaktor, in dem es für ca. 10 min mit Wasserdampf mit leichtem Druck gekocht wird. In der Mitte des Reaktors befindet sich eine axial angeordnete Welle, die mit Rührarmen versehen ist und das Produkt nach dem „first-in/first-out“ Prinzip durch die Öffnungen der Etagenböden austrägt, wobei sich die Klappen der Etagenöffnungen bei Erreichen eines definierten Füllstandes der Etagen (und somit beim Erreichen der gewollten Verweildauer) kontrolliert öffnen. Danach gelangt das Material in einen Expander, bestehend aus einem dickwandigen Mischrohr mit auswechselbaren Verschleißeinsätzen und einer einseitig gelagerten Welle, die mit Dosier-, Misch-, und Knetelementen (Stoppschrauben) versehen ist (Abb. 3). Zwischen Rohrende und dem Konus bildet sich der Ringspalt bei dem durch die hydraulische Regulierung der Spaltweite während des Betriebs der Druck, die Energieaufnahme, die Intensität der Reibung und somit auch die Temperatur stufenlos einstellbar sind. Der maximale Druck beträgt ca. 50 bar, wobei am Auslauf der Druck spontan abfällt und es somit zur „Expansion“ des Materials kommt. Hierbei verdampft ein Teil des zugeführten Wassers (Flash Verdampfung). Der Expander arbeitet nach dem HTST-Prinzip. Der Vorteil besteht darin, dass die sehr kurze Behandlung bei einer relativ hohen Temperatur wertvolle Bestandteile des Futtermittels wie Vitamine weitgehend unversehrt lässt. Die Zellstruktur des zu behandelnden Futtermittels wird aber durch die Kombination von Temperatur, Druck und Reibung intensiv bearbeitet, wodurch es zu einem bis zu 60 % -igem Stärkeaufschluss und einer besseren Eiweiß- und Ölverfügbarkeit kommt.

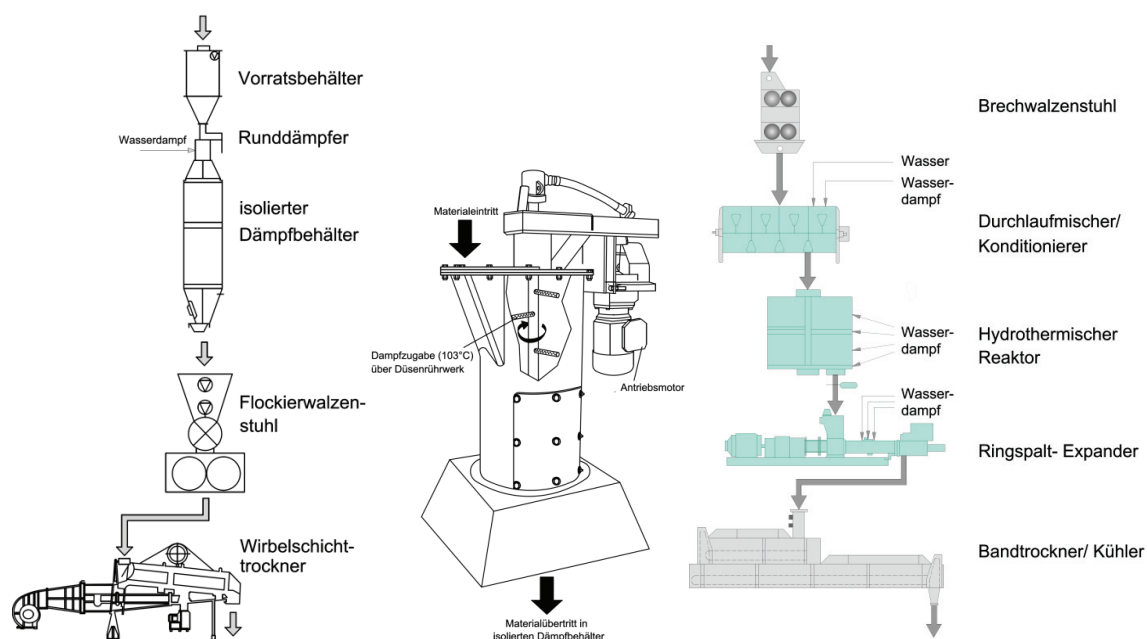


Abb. 2: Ablaufschema der hydrothermischen Aufbereitungsanlage (links, schwarz-weiß) und Detailzeichnung der Dampfzugabe über ein Düsenrührwerk in einem Runddämpfer (Mitte, schwarz-weiß) sowie Ablaufschema der druckthermischen Aufbereitungsanlage (rechts, farbig)

Bei allen Anlagen wurden je Probenahme, die immer aus einer Charge erfolgte, sowohl die Rohbohnen als auch die verschiedenen Endprodukte beprobt (wenn möglich wurde eine Probenahme-Lanze verwendet, alternativ wurden über längere Zeit aus dem Materialstrom kleine Proben entnommen). Anschließend wurden die Proben im Labor untersucht.

Neben der klassischen Weender-Analyse (u.a. Trockenmasse- (TM-), Rohprotein- (XP-) und Rohfett- (XL-) Gehalt) und einer zusätzlichen NIRS-Analyse (Aminosäuren über AminoNir (Fa Evonik) u.a. Lysin (LYS), Methionin + Cystein (M+C)) wurde bei je einer Probe pro Anlage das Fettsäuremuster untersucht. Bei allen Proben wurden spezielle Parameter zum Gehalt an antinutritiven Substanzen (u.a. Trypsininhibitoraktivität (TIA)) sowie bezüglich einer adäquaten Hitzebehandlung (Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH), Eiweißlöslichkeit in Wasser (PDI) und Ureaseaktivität (UA)) untersucht.

Als indirekter Parameter zur Sicherstellung einer adäquaten Hitzebehandlung und somit der Reduktion der antinutritiven Substanzen dient die UA. Man misst dabei die Restaktivität eines für die Sojabohne charakteristischen Enzyms, der Urease. Wobei der Zielwert so definiert ist, dass aus einer definierten Harnstofflösung bei 30°C nicht mehr als 0,4 mg/g TM Stickstoff in Form von Ammoniak freigesetzt werden darf [4]. Anhand dieser Freisetzung von Stickstoff wird dann auf die Restaktivität der TIA geschlossen, deren direkte Bestimmung sehr aufwändig ist. Der Parameter KOH ist ein guter Indikator für eine Hitze-Überbehandlung. Die daraus hervorgehenden Löslichkeiten des Proteins wurden mit Wachstumsraten bei Schweinen und Geflügel korreliert, wobei sich herausstellte, dass unter einer Proteinlöslichkeit von 72 % ein starker Leistungseinbruch der Versuchstiere eintrat [5]. Unbehandelte Sojabohnen dagegen sollten eine Löslichkeit von über 90% aufweisen. Die Spannweite für optimal aufbereitete Sojabohnen liegt bei 78 - 85 % [6]. Der Parameter PDI stellt sowohl die einfachste als auch die sensibelste Methode dar, um die Proteinqualität von aufbereiteten Sojaprodukten zu beurteilen. Der Test misst die Löslichkeit des Sojaproteins in Wasser. Die aktuellen Richtwerte liegen bei einem PDI-Wert von 15 – 30 % [6]. Der Gehalt an verbleibenden Trypsininhibitoren in Sojaprodukten führt im Laufe der Proteinverdauung im Dünndarm mit dem Verdauungsenzym Trypsin einen inaktiven Komplex der die Verdauung negativ beeinflusst und zu einer ausgeprägten Pankreas Hypertrophie führen kann. Es kommt zu einer erhöhten Ausschüttung des Verdauungsenzymes Trypsin und folglich zu einer verringerten N-Retention. Laut aktuellen Empfehlungen sollte der Wert für die verbleibende TIA 4-5 mg/g nicht überschreiten [7]. Die Ergebnisse wurden mit der Software GNU-R (Version 3.0.1 (2013-05-16)) ausgewertet. Nach Prüfung der Verteilung wurden die entsprechenden parametrischen oder nicht-parametrischen Verfahren zur weiteren Datenanalyse verwendet.

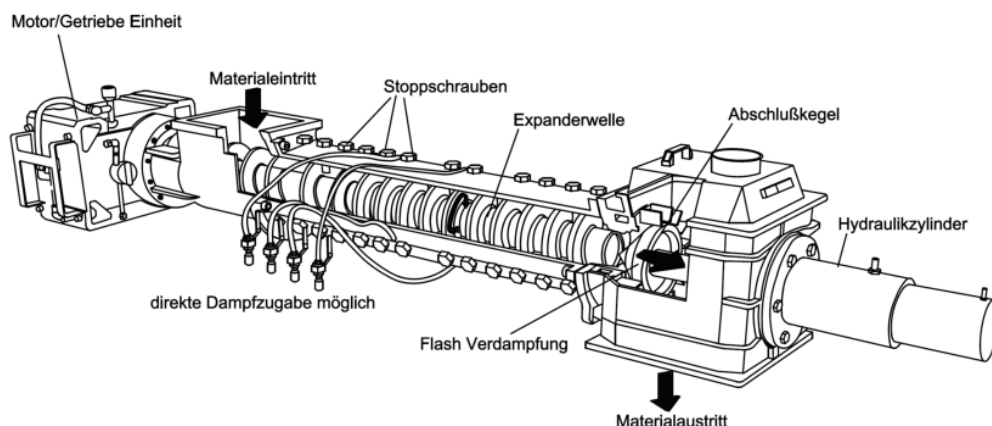


Abb. 3: Ringspaltexpander in der druckthermischen Aufbereitungsanlage

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse sollen einen Überblick über die erreichbaren Sojaqualitäten im bayerischen Anbau ermöglichen und auch detaillierte Aussagen zu den wertgebenden Inhaltsstoffen der verarbeiteten Sojaprodukte liefern. Anhand der Auswertung der jeweiligen Einzugsgebiete der Aufbereitungsanlagen konnte ein möglicher Einfluss der geographischen bzw. klimatischen Lage der Anbauggebiete auf die Rohware untersucht werden. Beim Vergleich von Rohbohnen aus Bayern mit Rohbohnen aus außerbayerischem (aber europäischem) Anbau stellte sich heraus, dass die bayerischen Sojabohnen aus den Erntejahren 2011 und 2012 signifikant höhere XP-Gehalte und signifikant niedrigere XL-Gehalte aufwiesen (Abb. 4; Median XP: 42,9 % TM (By) vs. 41,6 % TM; Median XL: 22,1 % TM (By) vs. 23,1 % TM)). Bei der TIA gab es dagegen keine signifikanten Unterschiede.

Beim Vergleich der vollfetten Produkte aus den drei Aufbereitungsverfahren in Bayern ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bei den untersuchten Aminosäuren (u.a. LYS (Mediane (in % TM: 2,81 (T) vs. 2,82 (HT) vs. 2,70 (DT); entölten Produkte: 3,10 (HT/DT); 3,17 (SES)), M+C (Mediane (in % TM: 1,26 (T) vs. 1,27 (HT) vs. 1,27 (DT); entölten Produkte: 1,39 (HT/DT); 1,42 (SES)). Auch für die Parameter TIA, KOH, PDI und UA konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Verfahren ermittelt werden (Abb. 5). Die sieben untersuchten SES aus Übersee lagen im Gegensatz zu den in Bayern verarbeiteten Sojabohnen in allen Parametern bezüglich einer adäquaten Hitzebehandlung innerhalb der Zielwerte. Lediglich beim PDI-Wert lagen drei Proben leicht unterhalb des unteren Zielwerts von 15 %. Beim Vergleich der Produkte aus den bayerischen Aufbereitungsanlagen mit SES ergaben sich für TIA, KOH und UA signifikante Unterschiede, wobei SES jeweils bessere Werte aufwies. Lediglich beim PDI-Wert konnte kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Die bayerischen Sojaprodukte hatten z.T. TIA Werte über dem Grenzwert und gleichzeitig noch relativ hohe Proteinlöslichkeiten (v.a. KOH). So überschritten den kritischen Wert von 5 g/mg TIA insgesamt 7 von 23 bzw. knapp ein Drittel der untersuchten Proben aus den bayerischen Aufbereitungsanlagen. Gleichzeitig lagen 16 bzw. mehr als zwei Drittel der bayerischen Proben über dem angestrebten Bereich von max. 85 % beim Parameter KOH. Beides deutet darauf hin, dass die Hitzebehandlung noch intensiver durchgeführt werden müsste. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass UA nur bedingt für die Beurteilung einer adäquaten Hitzebehandlung verwendet werden sollte, da dieser Parameter nur bei einer bayerischen Probe deutlich über dem Zielwert von <0,4 g/mg lag.

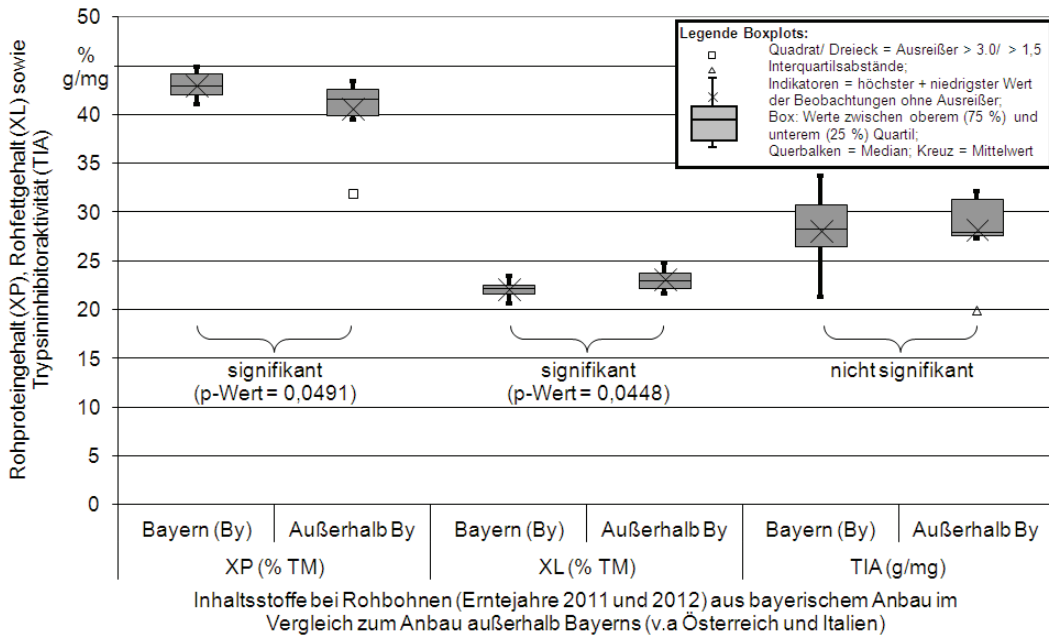


Abb. 4: Vergleich von bayerischen (n = 12) und außer-bayerischen Rohbohnen (n = 9)

Durch die Teilentölung mittels Schneckenpressen, beim Verfahren DT und HT, haben sich keine Änderungen am Verhältnis der gesättigten, ungesättigten und mehrfach-ungesättigten Fettsäuren zueinander und zum Gesamtfettgehalt ergeben.

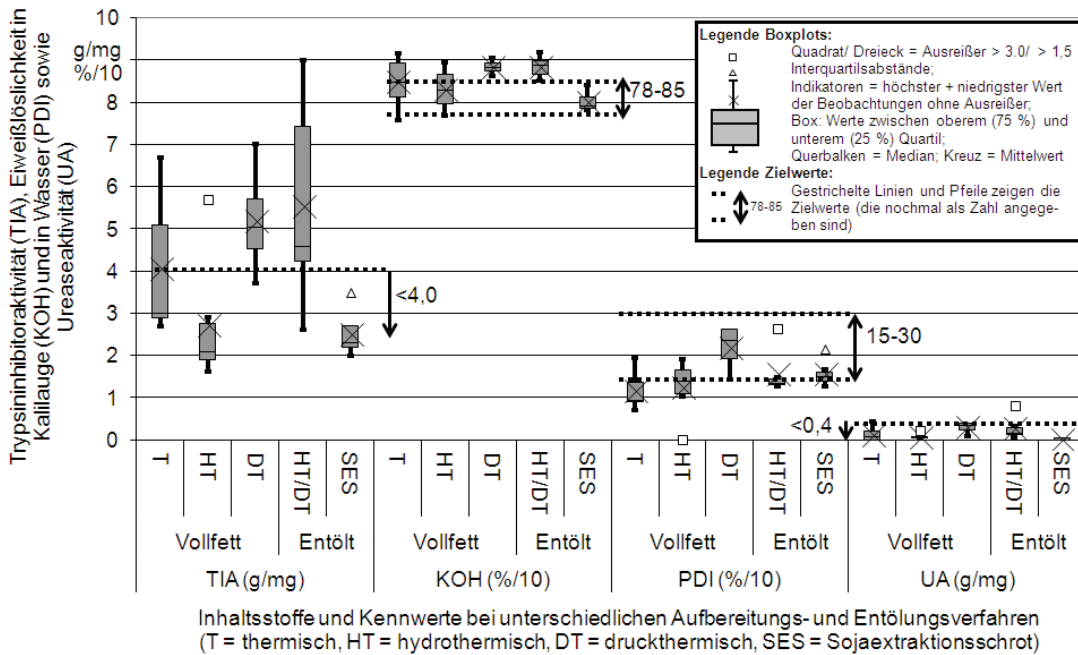


Abb. 5: Indikatoren für eine adäquate Hitzebehandlung bei Produkten aus bayerischen Aufbereitungsanlagen und SES (T: n = 7, HT: n = 6, DT: n = 4, HT/DT: n = 6, SES: n = 7)

## 5 Schlussfolgerungen

Sojabohnen aus bayerischem Anbau liefern eine hohe Qualität, die beim Rohproteingehalt sogar die außerbayerischen Sojabohnen übertrifft. Sofern die Marktleistung des Sojabohnen-Anbaus in den bayerischen Gunstlagen mit Alternativkulturen konkurrieren kann ist daher der Anbau lohnenswert und eine wertvolle Ergänzung für die Fruchtfolge. Für die Verarbeitung und Aufbereitung der immer noch geringen Erntemenge aus heimischem Anbau sind große Extraktionsanlagen aufgrund der hohen Verarbeitungsmenge ungeeignet. Derzeit stehen vier Anlagen mit drei verschiedenen Aufbereitungsverfahren in Bayern zur Verfügung. Die Intensität der Aufbereitung in diesen Anlagen ist derzeit noch nicht optimal, da bei rund 33 % der Endprodukte ein zu hoher TIA-Wert gemessen wurde, der zu Leistungsminderungen v.a. bei Monogastriden beiträgt. Alle Aufbereitungsanlagen konnten die Prozessparameter aufgrund der vorliegenden Ergebnisse optimieren. Je nach Ausgangsgehalt an antinutritiven Substanzen in den Rohbohnen ist eine unterschiedlich intensive Hitzebehandlung erforderlich, dazu sind häufigere Probenahmen mit entsprechenden Analysen notwendig. Da dies bei den kleinen Anlagen nicht wirtschaftlich umgesetzt werden kann, könnte eine Online-Prozesssteuerung über Nahinfrarotspektroskopie für eine gleichbleibende Aufbereitungsintensität sorgen. Die hohen Ölgehalte der vollfetten Sojaprodukte verhindern einen 100 %-igen Einsatz in den Futtermitteln. Die an zwei Aufbereitungsanlagen zur Verfügung stehenden Schneckenpressen können die Sojabohnen nur teilentölen. Durch den mittleren Restölgehalte bei Sojakuchen von 8-13 % sind Einsatzgrenzen in Rationen für Schweine oder Mastgeflügel zu beachten. Eine Alternative zur Hexanextraktion könnte vor allem für die ökologisch wirtschaftenden Landwirte die Extraktion mittels überkritischem CO<sub>2</sub> sein.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Groß, J. (2013): Das bayerische Aktionsprogramm Heimische Eiweißfuttermittel. Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Die Eiweißlücke schließen – Heimischer Anbau von Leguminosen“ am 21.02.2013 in Bad Hersfeld, 34 Seiten. Online verfügbar unter <http://www.llh-hessen.de/vortragsarchiv/2013/875-februar-2013.html>, Zugriff am 02.06.2013.
- [2] Taube, F. (2013): Der zukünftige europäische Weg. In: Landwirtschaft im Konflikt mit der Gesellschaft? Hrsg. DLG e.V., DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 17-42.
- [3] Zhang, Y., Parsons C.M. and Hymowitz, T. (1991) Effect of soybeans varying in trypsin inhibitor content on performance of laying hens. *Poultry Sci.* 70, 2210-2213.
- [4] Menke, K.-H., Huss, W. (1987): Tierernährung und Futtermittelkunde. 3. Auflage, Eugen-Ulmer Verlag, Stuttgart, 368 Seiten.
- [5] Parsons, C.M., Hashimoto, K., Wedekind, K.J., Baker, D.H. (1991). Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality. In: *J. Animal Sci.* 69, 2918–2924.
- [6] Van Eys, J.E. (2012): Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. Ph.D. thesis, U.S. Soybean export council, 105 Seiten.
- [7] Herkelman, K.L., Cromwell, G.L., Stahly, T. (1991): Effects of heating time and sodium metabisulfite on the nutritional value of full-fat soybeans for chicks. In: *J. Animal Sci.* 69, 4477-4486.



# Ölpresskuchen als heimische Eiweißquelle im Forellenfutter

Alexander M. Greiling <sup>(1)</sup>, Reinhard Reiter <sup>(1)</sup>, Markus Rodehutschord <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> LfL, Institut für Fischerei, Weilheimer Straße 8, 82319 Starnberg

<sup>(2)</sup> Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung, Emil-Wolff-Straße 8-10, 70599 Stuttgart

Alexander.Greiling@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

In einem Differenzversuch wurden die scheinbaren Verdaulichkeiten (sV) von Rohprotein und Energie in verschiedenen mechanisch entfetteten Ölpresskuchen (Raps, Sonnenblume und Sojabohne) an Regenbogenforellen untersucht. Ziel des Versuchs war es, die Ölpresskuchen auf ihr Potential als Proteinträger in Forellenfuttermitteln zu evaluieren.

Während das Rohprotein aus dem Sojabohnenpresskuchen mit 76 % eine hohe sV aufwies, war Rapsprotein mit 43 % gering und Sonnenblumenprotein mit 13 % nur sehr gering verdaulich. Sojabohnenpresskuchen kristallisiert sich somit unter diesem Aspekt als beste Alternative der untersuchten Ölpresskuchen heraus.

## Summary

In the experiment, the difference in apparent digestibilities (ADC) of crude protein and energy in different mechanically defatted oil press cakes (rapeseed, sunflower and soybean) was investigated using rainbow trout. The aim of the experiment was to evaluate the oil press cake as an alternative protein source in trout feed.

While the crude protein from soybean press cake with 76 % had a high digestibility, the digestibilities of rapeseed and sunflower protein were 43 % and 13 % respectively. Thus, soybean press cake was found to be the best alternative in this study.

## 1 Einleitung

Die weltweite Aquakulturproduktion stieg in den letzten Jahren um durchschnittlich 8,8 % und betrug 2011 ca. 64 Mio. Tonnen. Somit stammte fast die Hälfte aller für den menschlichen Verzehr bestimmten Fische und Krustentiere aus der Aquakultur. Im Jahr 2008 wurden hierfür 29,2 Mio. Tonnen Fischfutter industriell hergestellt. Die Salmoniden (hauptsächlich Lachse und Forellen) stellten mit einer Jahresproduktion von 2,25 Mio. Tonnen nur ca. 3,5 % der in der Aquakultur produzierten Fischmasse im Jahre 2008 dar. Dennoch wurden ca. 10 % des gesamten hergestellten Fischfutters in diesem Sektor eingesetzt [1][2].

Zwei wesentliche Bestandteile kommerzieller Futtermittel für Salmoniden sind tierische Proteine und Fette in Form von Fischmehl und Fischöl. Deren Verfügbarkeit stagniert allerdings seit vielen Jahren [3]. Im Jahre 2009 kamen 68,4 % des Fischmehls und 81,3 % des Fischöls der gesamten produzierten Mengen im Aquakultursektor zum Einsatz [2].

Hiervon entfielen, trotz des geringen Anteils der produzierten Gesamtmenge, entsprechend 27 % und 81 % allein auf die Produktion von Salmoniden [3].

Obwohl der Anteil o. g. Rohstoffe in kommerziellen Fischfuttermitteln im Laufe der letzten Jahre gesunken ist, steigt die Nachfrage nach hochwertigen Alternativen zu Fischmehl und Fischöl stetig [2]. Bisherige Anstrengungen hierzu fokussierten sich hauptsächlich auf proteinreiche Pflanzenmehle und Pflanzenöle mit hohen Omega-3-Fettsäure-Gehalten, welche auch schon flächendeckend zum Einsatz kommen. Sowohl Proteinkonzentrate und -isolate als auch Pflanzenöle genetisch veränderter Pflanzen und Algen finden nach und nach Einzug in diesen Sektor [4].

Die Herstellung proteinreicher pflanzlicher Produkte ist aber in jedem Fall mit energetischen und kostenintensiven Verarbeitungsschritten verbunden. Diese Verarbeitung macht den Einsatz von Proteinkonzentraten und -isolaten in großem Maßstab noch nicht wirtschaftlich. Ebenso ist die Gewinnung ausreichender Mengen Öl aus Algen noch nicht ökonomisch realisierbar.

Eine bisher weniger erforschte potenzielle Alternative stellt der Einsatz von Rückständen aus der Pflanzenölproduktion dar. Der Anstieg der weltweiten Produktion pflanzlicher Öle [5] (hauptsächlich als Speiseöl und für die Biokraftstoffproduktion) bringt eine steigende Verfügbarkeit dieser Koppelprodukte mit sich. Außerdem sind sie meist regional verfügbar und könnten ohne aufwendige Verarbeitungsschritte als Komponente von Fischfuttermitteln zum Einsatz kommen.

Die im Folgenden beschriebene Arbeit zielte darauf ab, die Verdaulichkeiten einzelner Nährstoffe der Ölpresskuchen an Regenbogenforellen zu untersuchen. Erste Ergebnisse aus dieser Arbeit werden vorgestellt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Presskuchen und Rationsherstellung

Die verschiedenen Ölpresskuchen wurden von der Marbacher Ölmühle, Marbach, Deutschland, zur Verfügung gestellt. Außer einer mechanischen Entfettung durch eine Schneckenpresse wurden die Ölsaaten keiner weiteren Behandlung ausgesetzt. Ihre Zusammensetzungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

*Tabelle 1: Zusammensetzungen der verschiedenen Ölpresskuchen (in g/kg Trockenmasse)*

|            | Raps | Sonnenblume | Soja |
|------------|------|-------------|------|
| Rohprotein | 294  | 224         | 434  |
| Rohfett    | 203  | 152         | 93   |
| Rohfaser   | 197  | 318         | 112  |
| Rohasche   | 54,5 | 66,5        | 58,2 |

Alle weiteren für die Rationen verwendeten Komponenten wurden von Emsland AllerAqua (EAA), Golßen, Deutschland, zur Verfügung gestellt. Alle für die Versuchsrationen verwendeten Komponenten wurden zunächst mit einer Hammermühle mit einer Siebmaschenweite von 0,5 mm vermahlen. Nach der Homogenisierung wurden in einem Schneckenextruder und anschließendem Vakkum-Coating Pellets mit ca. 4,5 mm Durchmesser

hergestellt. Der komplette Prozess der Futterherstellung wurde mit Hilfe des Fraunhofer Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV), Freising, Deutschland, realisiert.

## 2.2 Versuchsrationen und Verdaulichkeitsbestimmungen

Die scheinbaren Verdaulichkeiten von Rohprotein, Bruttoenergie, Calcium und Gesamt-Phosphor wurden in diesem Experiment untersucht. 0,5 % Titan-(VI)-oxid ( $\text{TiO}_2$ ) diente hierbei in den Rationen als inerte Marker für die indirekte Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeiten. Es wurden eine Referenz- und drei Versuchsrationen entsprechend der Zusammensetzungen in Tabelle 2 hergestellt. Die Versuchsrationen bestanden anteilig aus 75 % der Komponenten der Referenzrezeptur und 25 % des jeweiligen Presskuchens bezogen auf deren Trockensubstanz. Alle Rationen waren so konzipiert, dass die tierartspezifische Versorgung mit Nährstoffen nach *NRC, 2011* sichergestellt wurde [6].

*Tabelle 2: Rezepturen und chemische Zusammensetzungen der Versuchsrationen; REF (Referenz), RP25 (Raps), SB25 (Sonnenblume), SJ25 (Soja)*

| Ration                           | REF  | RP25 | SB25 | SJ25 |
|----------------------------------|------|------|------|------|
| <i>Rezeptur (g/100 g TM)</i>     |      |      |      |      |
| Rapspresskuchen                  |      | 25   |      |      |
| Sonnenblumenpresskuchen          |      |      | 25   |      |
| Sojapresskuchen                  |      |      |      | 25   |
| Fischmehl                        | 60,1 | 45   | 45   | 45   |
| Fischöl                          | 13,4 | 10   | 10   | 10   |
| Weizen                           | 15,4 | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| Weizengluten                     | 10,7 | 8    | 8    | 8    |
| $\text{TiO}_2$                   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  |
| <i>Analysierte Inhaltsstoffe</i> |      |      |      |      |
| Rohprotein (g/100 g TM)          | 54,1 | 48,0 | 45,8 | 51,5 |
| Bruttoenergie (MJ/kg TM)         | 23,6 | 23,1 | 23,2 | 23,2 |
| Ca (g/kg TM)                     | 16,9 | 15,0 | 17,2 | 13,4 |
| P (g/kg TM)                      | 13,8 | 13,9 | 15,2 | 12,3 |
| $\text{TiO}_2$ (g/kg TM)         | 4,52 | 4,64 | 4,62 | 4,58 |

### 2.3 Versuchsbedingungen und Probengewinnung

Die Versuchsbedingungen des Versuchs sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Versuchsbedingungen der Verdaulichkeitsbestimmung an Forellen

| Versuchsbedingungen                         |       |
|---|-------|
| Becken gesamt                               | 16    |
| Becken je Behandlung                        | 4     |
| Beckenvolumen [l]                           | 500   |
| Lichtregime (hell:dunkel) [h]               | 12:12 |
| Durchflussrate je Becken [l/s] <sup>1</sup> | 0,32  |
|   | 0,01  |
| O <sub>2</sub> -Gehalt [mg/l] <sup>1</sup>  | 8,9   |
|   | 0,52  |
| Wassertemperatur [°C] <sup>1</sup>          | 10,2  |
|   | 0,05  |
| Anzahl Fische je Becken                     | 40    |
| Durchschnittsgewicht [g] <sup>1</sup>       | 300   |
|   | 15,3  |

<sup>1</sup>Angaben jeweils als Mittelwert und Standardabweichung dargestellt

Die Fische wurden 3 Tage vor Versuchsbeginn genüchtert und jeweils zu Beginn und am Ende des Versuchs nach 2-tägiger Nüchterung gewogen. Die Erfassung der Wasserparameter erfolgte am Ablauf der Becken jeweils täglich 5 Minuten vor der Fütterung. Es wurde einmal täglich bis zur augenscheinlichen Sättigung gefüttert, mit Ausnahme des ersten Fütterungstags. Hier wurden die Fische nur mit 0,5 % ihres Gesamtgewichts an Futter versorgt um ein Überfressen nach der vorangegangenen Nüchterung zu verhindern.

Jede der vier Futtermischungen wurde jeweils vier Becken zugeordnet, die mit jeweils 40 Fischen besetzt waren. Die Fische wurden über 8 Tage gefüttert. Am letzten Fütterungstag wurden sie 2 h nach der Fütterung leicht betäubt und der Kot, in Anlehnung an *Kinzinger, 1992* [7], aus dem letzten Drittel des Darmtrakts abgestriffen. Ab dem 5. Fütterungstag sind die Fische hierfür zeitlich versetzt gefüttert worden. Dies ermöglichte es ihnen, sich an den zeitlich versetzten Fütterungsrhythmus zu gewöhnen, der für die Probengewinnung exakt 2 h nach der Fütterung notwendig war. Der Kot aller Fische eines Beckens wurde jeweils zu einer Sammelprobe zusammengefasst.

Um ausreichend Probenmaterial zu erhalten wurde dieser Versuch zwei Mal durchgeführt. Die Proben wurden bei -17°C bis zum Zeitpunkt der Analyse gelagert.

### 2.4 Probenanalyse und Berechnungen

Die Kotproben wurden vor der Analyse gefriergetrocknet und wie alle Proben homogenisiert. Die Analyse der Proben wurde nach den Methoden des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) durchgeführt. Die TiO<sub>2</sub> Analyse basiert auf der von *Boghun et al., 2009* beschriebenen Methode [8].

Die scheinbaren Verdaulichkeiten (sV) wurden wie im Folgenden berechnet:

Für die sV einzelner Nährstofffraktionen und Energie in Rationen gilt:

$$sV [\%] = 100 - \left( 100 * \left( \frac{\text{Marker in Ration}}{\text{Marker in Kot}} \right) * \left( \frac{\text{Nährstoff oder Energie in Kot}}{\text{Nährstoff oder Energie in Ration}} \right) \right)$$

Für die sV des Rohproteins (XP) der Presskuchen gilt:

sV XP in Presskuchen [%] =

$$\left( \frac{(XP \text{ in Ration} * sV \text{ XP Ration}) - (0,75 * XP \text{ in Ref.ration} * MW \text{ sV XP Ref.ration})}{(0,25 * XP \text{ in Presskuchen})} \right)$$

wobei:

MW sV – Mittelwert der scheinbaren Verdaulichkeiten

0,75 bzw. 0,25 – ergeben sich aus den Mischungsanteilen der Grundration und der Presskuchen

In dieser Rechnung mit dem Mittelwert der sV der Referenzration zu rechnen, würde statistisch nur artifizielle Wiederholungen erzeugen. So werden aber allen Behandlungen die gleichen Abweichungen unterlegt. Die Einzelwerte der sV der vier Referenzgruppen zuzuordnen wäre rechnerisch nicht zu rechtfertigen, da keine Form der Zuordnung statistisch begründbar ist.

## 2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung für die Daten der Futtermischungen erfolgte in SAS 9.2 (Windows). Die Mittelwerte der sV durchliefen nach der Überprüfung und Bestätigung der Normalverteilung eine einfaktorische Varianzanalyse (Proc ANOVA). Sie wurden dann mit Hilfe des Tukey HSD Tests zu einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  untereinander verglichen.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Ergebnisse

In der Tabelle 4 sind die ersten Ergebnisse des Versuchs zur sV des XP und der Bruttoenergie (GE) der Rationen sowie zur sV des XP der einzelnen Presskuchen dargestellt.

Tabelle 4: sV (%) des XP und der GE der verschiedenen Rationen und der Ölpresskuchen

|                    |                           |                           |                           |                           |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <i>Ration</i>      | REF                       | RP25                      | SB25                      | SJ25                      |
| XP                 | 88,4 <sup>a</sup><br>0,33 | 81,3 <sup>c</sup><br>0,40 | 79,9 <sup>c</sup><br>0,38 | 85,6 <sup>b</sup><br>0,37 |
| GE                 | 82,7 <sup>a</sup><br>1,00 | 70,6 <sup>c</sup><br>0,40 | 68,5 <sup>c</sup><br>0,91 | 78,0 <sup>b</sup><br>0,49 |
| <i>Presskuchen</i> |                           | Raps                      | Sonnenbl.                 | Soja                      |
| XP                 |                           | 42,9 <sup>b</sup><br>2,63 | 12,9 <sup>c</sup><br>3,11 | 75,5 <sup>a</sup><br>1,77 |

Mittelwerte (n = 4) und Standardfehler; verschiedene Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ).

Die sV des XP und der GE der Referenzration ist jeweils höher als die der übrigen Rationen. Von den Presskuchenrationen weist Soja hier signifikant die höchsten sV auf, während Raps und Sonnenblume sich diesbezüglich nicht signifikant unterscheiden.

Auch bezogen auf das XP aus den jeweiligen Presskuchen weist Soja mit 75,5 % die höchste sV auf. Die sV des XP aus den anderen Presskuchen liegen hier mit 42,9 % (Raps) und 12,9 % (Sonnenblume) deutlich darunter. Anders als in der Mischration unterscheiden sich Raps und Sonnenblume hier signifikant voneinander. Hier fallen jedoch die Unterschiede deutlich größer aus als die sV des XP und der GE der Gesamtionen.

#### 3.2 Diskussion

Es liegen aus der Literatur keine direkten Vergleichswerte für die XP-Verdaulichkeit vor, da bisher der Fokus auf vorbehandelten pflanzlichen Komponenten lag. Thermisch vorbehandelte und prozessierte Soja- oder Rapsprodukte hatten teilweise sV von ca. 90 % [9][10]. Auch bei Sonnenblumenmehl wurden Werte in vergleichbarer Höhe in Bezug auf die XP-Verdaulichkeit ermittelt [11].

Die in unserem Fall niedriger ausfallenden sV werden mit zwei wesentlichen Aspekten zusammenhängen. Zum einen der ausbleibenden Inaktivierung antinutritiver Faktoren durch keinerlei Vorbehandlung und zum anderen hohe Rohfasergehalte, insbesondere im Sonnenblumenpresskuchen.

Die Verdaulichkeit des XP der Presskuchen korreliert negativ mit deren Rohfasergehalten. Hohe Rohfasergehalte nehmen, besonders bei der Beschaffenheit der Ölpresskuchen, auf dessen Proteinverdaulichkeit hier starken Einfluss. Sie sind nicht als gesonderte Komponenten zu betrachten, sondern als eine komplexe Matrix, die als solche Bestandteil des

Futters ist. So kann das Vorhandensein verhältnismäßig hoher Rohfasergehalte die enzymatische Hydrolyse der Proteine einschränken.

Obwohl der Sojapresskuchen am wenigsten Rohfett aufweist, ist die sV der GE in dieser Testration am höchsten. Dies dürfte maßgeblich mit den Unterschieden im Rohfasergehalt zusammenhängen. Da für Sojapresskuchen auch die höchste XP-Verdaulichkeit ermittelt wurde, wird das Protein maßgeblich zur Energieversorgung der Fische beigetragen haben. In den anderen Fällen wurde kein signifikanter Unterschied in der Energieverdaulichkeit festgestellt, dennoch weisen sie stark unterschiedliche XP-Verdaulichkeiten auf. Hier wird das in den Presskuchen vorhandene Rohfett zur Energieversorgung stärker beigetragen haben.

## **4 Schlussfolgerungen**

Die Daten zur Verdaulichkeit des XP in den Presskuchen zeigen, dass Sonnenblumenpresskuchen in der hier verwendeten Zusammensetzung keine brauchbare Proteinquelle für die Forellenfütterung ist. Raps zeigte ein deutlich besseres Potential, die XP-Verdaulichkeit ist jedoch auch bei diesem Produkt zu gering. Die Verdaulichkeit des Sojaproteins hingegen war im Verhältnis sehr hoch und stellt unter diesem Gesichtspunkt die beste Alternative dar.

Es handelt sich hierbei jedoch nur um einen Teilaspekt des Projektvorhabens und deren erste Ergebnisse. Es bleibt abzuwarten in welchem Maßstab Aufbereitungsverfahren den Futterwert einzelner Presskuchen steigern können. Hierbei sollen auch der Einfluss des Prozessierens auf antinutritive Faktoren untersucht werden. Ferner können auch wirtschaftliche Faktoren, wie die Kosten der Aufbereitung, die Kosteneinsparungen in der Futtermittelproduktion oder der Mehrwert eventuell gewonnener Nebenprodukte aus der Aufbereitung das Potential als heimische Eiweißquelle einzelner Presskuchen beeinflussen.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] FAO (2012): *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*, Rom, 209 Seiten
- [2] Tacon A., Hasan M. and Metian M. (2011): *Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans*, FAO Technical Paper 564, Rom, 88 Seiten
- [3] *Facts, Figures and Trends* (2011): International Fishmeal and Fishoil Organisation, Präsentation
- [4] Gatlin, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, Å., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., J Souza, E., Stone, D., Wilson, R. and Wurtele, E. (2007): *Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds - a review*, *Aquaculture Research*, 38, S. 551-579
- [5] FAOStat, abgerufen am 26.02.2013
- [6] National Research Council (2011): *Nutrient requirements of Fish and Shrimp*, Washington D.C., 376 Seiten
- [7] Kinzinger S. (1992): *Untersuchungen zur Verdaulichkeitsbestimmung bei Forellen nach der Differenzmethode und Bewertung ausgewählter Einzelfuttermittel*, Dissertation der Universität Bonn
- [8] Boguhn J., Baumgaertel T., Dieckmann A. and Rodehutschord M. (2009): *Determination of titanium dioxide supplements in different matrices using two methods involving photometer and inductively coupled plasma optical emission spectrometer measurements*, *Arch Anim Nutr*, 63, S. 337-342
- [9] Barrows F., Stone D. and Hardy R. (2007): *The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)*, *Aquaculture*, 265, S. 244-252
- [10] Burel C., Boujard T., Tulli F. and Kaushik S. (2000): *Digestibility of extruded peas, extruded lupin, and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*)*, *Aquaculture*, 188, S. 285-298
- [11] Sanz A., Morales A.E., de la Higuera M. and Cardenete G. (1994): *Sunflower meal compared with soybean meal as partial substitutes for fish meal in rainbow trout diets*, *Aquaculture*, 128, S. 287-300

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.



## **Einsatz von Rapsextraktionsschrot beim Schwein**

Wolfgang Preißinger, Hermann Lindermayer, Günther Propstmeier, Simone Reindler

LfL, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof. Dürrwächter-Platz 3, 85586 Poing/Grub

Wolfgang.Preissinger@LfL.bayern.de

### **Zusammenfassung**

In zwei Fütterungsversuchen mit 192 Ferkeln bzw. 192 Mastschweinen wurden hohe Mengen an Rapsextraktionsschrot in der Ration getestet. Beim Ferkel wurden 6 bzw. 14 % Rapsextraktionsschrot im Aufzuchtfutter I bzw. II eingesetzt. In der Mast wurden 10, 15 und 16,5 % Rapsextraktionsschrot in der Anfangs-, Mittel- und Endmast geprüft. Beim Ferkel ließen sich im Lebendmassebereich von 9 bis 30 kg mit Rapsextraktionsschrot gute bis sehr gute Leistungen erzielen (527 g tägliche Zunahmen). Diese lagen sogar um 17 g/Tag höher als in der Kontrollgruppe mit Sojaextraktionsschrot. Im Mastversuch konnten die mit Rapsextraktionsschrot gefütterten Tiere (829 g tägliche Zunahmen) trotz nährstoffidentischer Mischungen das Zunahmenniveau der Kontrollgruppe mit Sojaextraktionsschrot (859 g/Tag) nicht erreichen. Bei etwa gleichen Schlachtgewichten in beiden Gruppen gab es signifikante Unterschiede im Fleisch- bzw. Fettansatz. Die mit Sojaextraktionsschrot gefütterten Tiere waren bei allen Schlachtparametern überlegen.

### **Summary**

Two feeding trials were carried out to explore high amounts of rapeseed meal (RSM) in the diets of piglets and growing-finishing pigs. The diets for the piglets contained 6 % RSM in the first part and 14 % RSM in the second part of the trial. The diets for the growing-finishing pigs contained 10 % RSM (30-60 kg BW), 15 % RSM (60-90 kg BW) and 16.5 % RSM (90-120 kg BW). RSM in diets for piglets (9-32 kg BW) caused high daily gains (527 g/d). The daily gain in the RSM group was about 17 g/d higher than in the control with soybean meal. Growing-finishing pigs fed RSM had lower daily gain (829 g/d) than those fed soybean meal (859 g/d). The carcass quality was much better if soybean meal was fed.

## **1 Einleitung**

Rapsprodukte insbesondere Rapsextraktionsschrot (Bayern: ca. 50.000 t/Jahr Überschuss) sind im Futtermittelmarkt gut verfügbar und haben bei gegebener Preiswürdigkeit immer mehr Einzug in die Schweinefütterung gefunden. Die Rationsanteile wurden dabei Zug um Zug erhöht, was sicherlich mit den Qualitätsverbesserungen (z. B. niedrigere Glukosinolatgehalte) der letzten Jahre zusammenhängt [1]. Aus aktuellen Versuchen und Empfehlungen geht hervor, dass beim Ferkel bis zu 10 % und in der Mast bis zu 15 %

Rapsextraktionsschrot eingesetzt werden können [2], [3], [4], [5], [6]. Diese hohen Einsatzraten sollten im Rahmen des Aktionsprogrammes „Heimische Eiweißfuttermittel“ unter bayerischen Fütterungsbedingungen (Eigenmischer, bayerische Genetik) in Fütterungsversuchen mit Ferkeln und Mastschweinen überprüft werden.

## 2 Material und Methoden

Die Versuche wurden am Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum Schwarzenau durchgeführt. Dazu wurden jeweils 192 Tiere der Rasse Pi x (DL x DE) nach Lebendmasse, Abstammung und Geschlecht ausgewählt und gleichmäßig auf zwei Behandlungsgruppen („Soja“ bzw. „Raps“) aufgeteilt. Sämtliche Versuchsrationen (Tab. 1, 2) wurden in der Versuchsmahl- und Mischanlage Schwarzenau hergestellt.

Tab. 1: Ferkelversuch - Rationen und analysierte Inhaltswerte (2 Analysen/Futtertyp, Angaben je kg in 88 % TM)

| Futter/<br>Inhaltsstoffe     |      | Gruppe „Soja“ |        | Gruppe „Raps“ |        |
|------------------------------|------|---------------|--------|---------------|--------|
|                              |      | FAF I         | FAF II | FAF I         | FAF II |
| Weizen                       | %    | 40            | 40     | 40            | 40     |
| Gerste                       | %    | 35            | 36,5   | 32            | 29     |
| Raps-/Sojaöl                 | %    | 1             | 1      | 1,5           | 2,5    |
| Sojaextraktionsschrot 48     | %    | 19            | 18     | 15,5          | 10     |
| Rapsextraktionsschrot        | %    | -             | -      | 6             | 14     |
| Fumarsäure                   | %    | 1             | 1      | 1             | 1      |
| Mineralfutter <sup>1)</sup>  | %    | 4             | 3,5    | 4             | 3,5    |
| ME                           | MJ   | 13,06         | 13,06  | 12,90         | 12,94  |
| Rohprotein                   | g    | 186           | 184    | 191           | 190    |
| Lysin                        | g    | 12,0          | 11,4   | 11,9          | 11,5   |
| Methionin                    | g    | 4,0           | 3,5    | 3,9           | 3,4    |
| Threonin                     | g    | 7,5           | 7,3    | 7,7           | 7,7    |
| Thryptophan                  | g    | 2,6           | 2,4    | 2,5           | 2,4    |
| Rohfett                      | g    | 26            | 27     | 32            | 37     |
| Rohfaser                     | g    | 28            | 33     | 44            | 43     |
| Ca                           | g    | 8,0           | 7,2    | 8,3           | 7,2    |
| P                            | g    | 5,1           | 4,9    | 5,6           | 6,0    |
| Cu                           | mg   | 142           | 135    | 136           | 138    |
| Zn                           | mg   | 127           | 122    | 121           | 119    |
| Glukosinolat                 | mmol | 0             | 0      | 0,5           | 1,3    |
| SBV <sup>2)</sup>            | meq  | 716           | 661    | 735           | 687    |
| VQ org. Subst. <sup>3)</sup> | %    | 88,5          | 87,8   | 86,8          | 85,7   |
| Futterkosten, frei Trog      | €/dt | 30,20         | 29,60  | 30,28         | 30,12  |

<sup>1)</sup> Mifu (15,5 Ca/2,5 P/5 Na/10 Lys/3 Met/3,5 Thr/0,4 Trp/Phyt)

<sup>2)</sup> Säurebindungsvermögen pH 3<sup>3)</sup> VQ aus Verdauungsversuchen mit 3 Tieren/Futter

Die Rationen basierten auf Weizen, Gerste, HP-Soja- und Rapsextraktionsschrot und waren bei den wesentlichen Parametern (Energie, Aminosäuren) vergleichbar. Die Energieanpassung in den Rapsgruppen erfolgte durch eine Gemisch aus Raps- und Sojaöl. Das im Ferkelversuch eingesetzte Mineralfutter stammte aus einer Charge eines Herstellers. Im Mastversuch wurden zwei Mineralfuttertypen des gleichen Herstellers eingesetzt. Laut Firmenangaben war das in der Gruppe „Raps“ verwendete Mineralfutter speziell für Rationen mit mehr als 8 % Rapsprodukten konzipiert. Die Futteruntersuchungen wurden im

Labor der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub (AQU 3) nach VDLUFA-Richtlinien durchgeführt.

Tab. 2: Mastversuch - Rationen und analysierte Inhaltswerte (4 Analysen/Futternotyp, Angaben je kg in 88 % TM)

| Futter/<br>Inhaltsstoffe            |      | Gruppe „Soja“ |       |       | Gruppe „Raps“ |       |       |
|-------------------------------------|------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                                     |      | AM            | MM    | EM    | AM            | MM    | EM    |
| Weizen                              | %    | 50            | 50    | 50    | 52            | 60    | 60    |
| Gerste                              | %    | 30            | 33,5  | 37    | 25            | 17,5  | 20    |
| Sojaextraktionsschrot 48            | %    | 17            | 14    | 11    | 9             | 3,5   | --    |
| Rapsextraktionsschrot               | %    | --            | --    | --    | 10            | 15    | 16,5  |
| Raps-/Sojaöl                        | %    | --            | --    | --    | 1             | 1,5   | 1,5   |
| Mineralfutter „Raps“ <sup>(1)</sup> | %    | --            | --    | --    | 3             | 2,5   | 2     |
| Mineralfutter „Soja“ <sup>(2)</sup> | %    | 3             | 2,5   | 2     | --            | --    | --    |
| ME                                  | MJ   | 13,32         | 13,46 | 13,44 | 13,43         | 13,52 | 13,53 |
| Rohfaser                            | g    | 33            | 33    | 38    | 40            | 37    | 50    |
| Rohprotein                          | g    | 184           | 175   | 171   | 182           | 172   | 166   |
| Lysin                               | g    | 10,5          | 9,5   | 8,5   | 10,5          | 9,4   | 8,3   |
| Methionin + Cystin                  | g    | 6,5           | 6,6   | 6,1   | 6,2           | 7,2   | 6,4   |
| Threonin                            | g    | 6,5           | 6,4   | 6,3   | 6,7           | 7,0   | 6,3   |
| Tryptophan                          | g    | 2,3           | 2,2   | 2,1   | 2,4           | 2,2   | 2,0   |
| Ca                                  | g    | 9,0           | 7,0   | 4,8   | 8,2           | 7,2   | 4,6   |
| P                                   | g    | 5,2           | 4,9   | 4,4   | 5,3           | 5,1   | 4,8   |
| Glukosinolat                        | mmol | -             | -     | -     | 1,1           | 1,7   | 1,8   |
| Polyensäuren                        | g    | 8,0           | 8,0   | 8,1   | 12,9          | 13,2  | 13,2  |
| Preis                               | €/dt | 30,9          | 29,87 | 28,85 | 30,9          | 29,87 | 28,85 |
| Mögl. Rapspreis                     | €/dt |               |       |       | 35,5          | 32,97 | 32,61 |

<sup>1)</sup> Mifu Raps: 10Lys/1,1Met/3Thr/20,5Ca/1P/5Na/300.000A/35.000D3/3000E/50mgJ-16.666 Phyt6

<sup>2)</sup> Mifu Soja: 8Lys/1,5Met/1,5Thr/21Ca/3P/5Na/320.000A/50.000D3/3000E/66mgJ-16.666 Phyt3

<sup>3)</sup> VQ aus Verdauungsversuchen

In beiden Versuchen wurden 16 Buchten mit jeweils 12 Tieren belegt. Pro Behandlungsgruppe wurden 2 Buchten mit weiblichen Tieren, 2 Buchten mit männlichen kastrierten Tieren und 4 Buchten gemischtgeschlechtlich aufgestellt. Die Tiere wurden auf Kunststoff- (Ferkel) bzw. Betonspalten (Mastschweine) ohne Einstreu gehalten. Sie waren zu Versuchsbeginn im Durchschnitt 31 (Ferkel) bzw. 74 (Mastschweine) Tage alt und wogen 9,1 (Ferkel) bzw. 31,9 kg (Mastschweine). Die Lebendmassen wurden wöchentlich am Einzeltier erfasst.

Im Ferkelversuch erfolgte die Futterzufuhr für jede Fütterungsgruppe über eine separate Spot-Mix-Mini-Anlage (Fa. Schauer) mit automatischer Futterverwiegung für jede Bucht. Gefüttert wurde am Kurztrug mit Trogsensor. Im Mastversuch kam für jede Behandlungsgruppe eine separate Flüssigfütterungsanlage (Fa. Schauer) zum Einsatz. Gefüttert wurde am Langtrug mit Trogsensor. Die Flüssigfuttermengen wurden für jede Bucht automatisch verwogen.

Der Ferkelfütterungsversuch lief über einen Zeitraum von 42 Tagen. Im Mastversuch wurden die Tiere nach Erreichen von etwa 120 kg Lebendmasse nach den Vorgaben der Mastleistungsprüfung an vier Terminen im Versuchsschlachthaus Schwarzenau geschlachtet.

Die Stickstoff- und Phosphorausscheidungen wurden aus der Differenz Aufnahme mit dem Futter und Ansatz je kg Zuwachs ermittelt. Für P wurden 5 g/kg Zuwachs entsprechend den Vorgaben der GfE [7] unterstellt, bei N wurden 25,6 g/kg angenommen [8]. Zur Bestimmung der Preiswürdigkeiten wurden aktuelle Zukaufspreise zugrunde gelegt. Nach Versuchsende wurden für jede Behandlungsgruppe Gülleproben gezogen und der Gülleanfall ermittelt. Die Analyse der Gülleproben wurde im Labor der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU 1) in Freising nach VDLUFA-Richtlinien durchgeführt.

### **3 Ergebnisse und Diskussion**

#### **Ferkelaufzucht**

Im Ferkelversuch wurden in der Gruppe „Raps“ mit 527 g um 17 g höhere tägliche Zunahmen erzielt als in der Kontrolle mit Sojaextraktionsschrot. Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht abzusichern. Der Futterverbrauch war mit 803 bzw. 802 g in beiden Gruppen nahezu identisch. Daraus resultierte ein Futteraufwand je kg Zuwachs von 1,60 kg für die Gruppe „Soja“ und von 1,53 kg für die Gruppe „Raps“. Wie aus Tab. 3 ersichtlich ist, kam der Vorsprung der Gruppe „Raps“ aus der Anfangsphase der Aufzucht. Es zeigte sich, dass Rapsextraktionsschrot guter Qualität durchaus zu hohen Anteilen ohne Leistungseinbußen enthalten sein kann und bestätigt neuere Versuche [5]. In beiden Gruppen wurde nach den Verzehr- und Leistungsdaten eine Futterkostengleichheit frei Trog ohne Extrakosten (z. B. zusätzliches Silo) erreicht. Die Kosten für Rapsextraktionsschrot lagen bei etwa 65 % des Preises für Sojaextraktionsschrot mit HP-Qualität. In der Gruppe „Soja“ wurden 6,1 kg Sojaextraktionsschrot (HP-Qualität) je aufgezogenes Ferkel verbraucht. In der Gruppe „Raps“ waren es 3,8 kg Soja- plus 4,0 kg Rapsextraktionsschrot. Rationen mit Rapsextraktionsschrot enthalten bei gleicher Aminosäureausstattung und gleichem Gehalt an verdaulichem Phosphor immer mehr Rohprotein bzw. Phosphor. Sie belasten damit die N- und P-Bilanz v.a. viehstarker Betriebe stärker. Ein Ausgleich über höhere Gehalte an Aminosäuren im Mineralfutter bzw. weniger Phosphor im Mineralfutter ist begrenzt möglich.

Tab. 3: Aufzuchtleistungen im Ferkelversuch (LSQ-Werte)

|                                  |               |              | Gruppe „Soja“     | Gruppe „Raps“     | Sign.        |
|----------------------------------|---------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>Lebendmasse</b>               | Beginn        | kg           | 9,1               | 9,1               | 0,986        |
|                                  | Ende          | kg           | 30,1              | 30,7              | 0,124        |
| <b>Zunahmen</b>                  | Phase 1       | g/Tag        | 270 <sup>a</sup>  | 339 <sup>b</sup>  | 0,001        |
|                                  | Phase 1       | g/Tag        | 717               | 690               | 0,056        |
|                                  | <b>gesamt</b> | <b>g/Tag</b> | <b>510</b>        | <b>527</b>        | <b>0,089</b> |
| <b>Futtermittelverbrauch</b>     | Phase 1       | g/Tag        | 406               | 425               | 0,385        |
|                                  | Phase 1       | g/Tag        | 1217              | 1203              | 0,695        |
|                                  | <b>gesamt</b> | <b>g/Tag</b> | <b>802</b>        | <b>803</b>        | <b>0,965</b> |
| <b>Futtermittelaufwand</b>       | Phase 1       | kg/kg        | 1,57 <sup>a</sup> | 1,25 <sup>b</sup> | 0,033        |
|                                  | Phase 1       | kg/kg        | 1,70              | 1,74              | 0,482        |
|                                  | <b>gesamt</b> | <b>kg/kg</b> | <b>1,60</b>       | <b>1,53</b>       | <b>0,178</b> |
| Futterkosten pro Ferkel          |               | €            | 9,94              | 9,97              | -            |
| Futterkosten pro 1 kg Zuwachs    |               | €            | 0,47              | 0,46              | -            |
| Preiswürdigkeit Rapsextr.-schrot |               | €            | -                 | Soja 48 x 0,65    | -            |
| Verbrauch, Sojaextr.-schrot      |               | kg/Ferkel    | 6,1 (=100 %)      | 3,8 (=62 %)       | -            |
| Verbrauch, Rapsextr.-schrot      |               | kg/Ferkel    | -                 | 4,0 (=66 %)       | -            |
| N-Ausscheidung                   |               | g/Ferkel     | 401 (=100 %)      | 432 (=108 %)      | -            |
| P-Ausscheidung                   |               | g/Ferkel     | 59 (=100 %)       | 80 (=136 %)       | -            |

Werte mit ungleichen Hochbuchstaben sind signifikant verschieden

### Schweinemast

Das Leistungsniveau war mit 859 g (Gruppe „Soja“) bzw. 829 g (Gruppe „Raps“) tägliche Zunahmen ansprechend. Im Versuchsmittel lag der tägliche Futtermittelverbrauch in beiden Gruppen bei genau 2,25 kg Futter. Die signifikant besseren täglichen Zunahmen der Mastschweine der Gruppe „Soja“ resultierten v.a. aus der Anfangsmast (+59 g/Tag; vgl. Tab. 4). Dieser Vorsprung schwächte sich aber im Verlauf der Mast immer mehr ab.

Tab. 4: Mast- und Schlachtleistungen im Mastversuch (LSQ-Werte)

| Mastleistung                             |                |                 | Gruppe „Soja“          | Gruppe „Raps“          | Sign.        |
|--|----------------|-----------------|------------------------|------------------------|--------------|
| Mastdauer                                |                | Tage            | 107 <sup>a</sup>       | 111 <sup>b</sup>       | 0,023        |
| <b>Lebendmasse</b>                       | Versuchsbeginn | kg              | 31,9                   | 31,9                   | 0,883        |
|  | Beginn Phase 2 | kg              | 64,2 <sup>a</sup>      | 61,8 <sup>b</sup>      | 0,007        |
|  | Beginn Phase 3 | kg              | 90,4 <sup>a</sup>      | 87,6 <sup>b</sup>      | 0,018        |
|  | Versuchsende   | kg              | 123,1                  | 123,0                  | 0,947        |
| <b>Zunahmen</b>                          | Phase 1        | g/Tag           | 771 <sup>a</sup>       | 712 <sup>b</sup>       | 0,001        |
|  | Phase 2        | g/Tag           | 934                    | 919                    | 0,437        |
|  | Phase 3        | g/Tag           | 914                    | 887                    | 0,312        |
|  | <b>gesamt</b>  | <b>g/Tag</b>    | <b>859<sup>a</sup></b> | <b>829<sup>b</sup></b> | <b>0,047</b> |
| <b>Futtermverbrauch</b>                  | Phase 1        | kg/Tag          | 1,73                   | 1,72                   | 0,912        |
|  | Phase 2        | kg/Tag          | 2,34                   | 2,38                   | 0,818        |
|  | Phase 3        | kg/Tag          | 2,67                   | 2,66                   | 0,951        |
|  | <b>gesamt</b>  | <b>kg/Tag</b>   | <b>2,25</b>            | <b>2,25</b>            | <b>0,964</b> |
| <b>Futteraufwand</b>                     | Phase 1        | kg/kg           | 2,24 <sup>a</sup>      | 2,43 <sup>b</sup>      | 0,014        |
|  | Phase 2        | kg/kg           | 2,51                   | 2,61                   | 0,442        |
|  | Phase 3        | kg/kg           | 3,04                   | 3,06                   | 0,904        |
|  | <b>gesamt</b>  | <b>kg/kg</b>    | <b>2,64</b>            | <b>2,75</b>            | <b>0,351</b> |
| Schlachtgewicht                          |                | kg              | 98,3                   | 97,0                   | 0,182        |
| Ausschlachtung                           |                | %               | 79,9 <sup>a</sup>      | 78,9 <sup>b</sup>      | 0,001        |
| Fleischfläche                            |                | cm <sup>2</sup> | 59,8 <sup>a</sup>      | 56,5 <sup>b</sup>      | 0,001        |
| Fettfläche                               |                | cm <sup>2</sup> | 16,8 <sup>a</sup>      | 17,8 <sup>b</sup>      | 0,031        |
| Fleisch/Fett                             |                | l:              | 0,28 <sup>a</sup>      | 0,32 <sup>b</sup>      | 0,001        |
| Speckmaß                                 |                | mm              | 13,8 <sup>a</sup>      | 14,6 <sup>b</sup>      | 0,014        |
| Fleischmaß                               |                | mm              | 67,3 <sup>a</sup>      | 64,6 <sup>b</sup>      | 0,001        |
| Fleisch i. Bauch                         |                | %               | 58,3 <sup>a</sup>      | 57,1 <sup>b</sup>      | 0,010        |
| Muskelfleisch                            |                | %               | 60,1 <sup>a</sup>      | 59,0 <sup>b</sup>      | 0,001        |
| Futterkosten/Mastschwein                 |                | €               | 60,75                  | 60,75                  |              |
| Futterkosten pro 1 kg Zuwachs            |                | €               | 0,67                   | 0,67                   |              |
| Preiswürdigkeit Rapsschrot <sup>1)</sup> |                |                 | -                      | Soja 48 x 0,66         | -            |
| Verbrauch Sojaextr.-schrot               |                | kg/Tier         | 27,7 (=100 %)          | 6,8 (=25 %)            |              |
| Verbrauch Rapsextr.-schrot               |                | kg/Tier         | --                     | 29,4 (=106 %)          |              |
| N-Ausscheidung                           |                | kg/Tier         | 3,47 (=100 %)          | 3,33 (=96 %)           | -            |
| P-Ausscheidung                           |                | kg/Tier         | 0,52 (=100 %)          | 0,57 (=110 %)          | -            |

Werte mit ungleichen Hochbuchstaben sind signifikant verschieden

Beim Futteraufwand lag die Gruppe „Soja“ vorn. Eine Verminderung der Futteraufnahme bei hohen Anteilen von Rapsextraktionsschrot bei Flüssigfütterung trat nicht ein. Jedoch wurde in der Gruppe „Raps“ verstärkt Schwanzbeißen beobachtet.

Die P-Ausscheidung ist mit Rapsextraktionsschrot in der Mastration immer höher (mehr P/kg plus mehr Eiweißfutter in der Ration). In vorliegender Untersuchung betrug die Erhöhung 10 %. Mit Raps- plus Sojaextraktionsschrot in der Ration war gegenüber alleinigem Einsatz von Sojaextraktionsschrot der notwendige Eiweißfutterverbrauch um rund 30 % höher (36,2 gegenüber 27,7 kg pro Mastschwein).

Die Futterkosten frei Trog waren in vorliegendem Versuch ausgeglichen, wenn Rapsextraktionsschrot ungefähr 65 % des Preises für Sojaextraktionsschrot mit 48 % Rohprotein ausmacht.

Bei etwa gleichen Schlachtgewichten in beiden Gruppen waren signifikante Unterschiede im Fleisch- bzw. Fettansatz zu erkennen (Tab. 4). Die Tiere der Gruppe „Soja“ waren bei allen Schlachtparametern überlegen. Die Erklärung für den geringeren Fleischansatz der Schweine in der Gruppe „Raps“ könnte möglicherweise in der Anfangsmast mit den aufgezeigten schlechten Leistungen begründet sein. In jungem Alter findet die Proteineinlagerung und Fleischbildung statt. Kompensationsversuche gegen Mitte und Ende der Mast für verminderte Zunahmen in der Anfangsmast führen zu verstärkter Fetteinlagerung.

### Gülleanfall und Gülleinhaltsstoffe

Pro Ferkel fielen in beiden Gruppen 0,15 m<sup>3</sup> Gülle mit 5,0 % („Soja“) bzw. 4,3 % TM („Raps“) an. Beim Mastschwein fielen in der Gruppe „Soja“ 0,47 m<sup>3</sup> Gülle mit 4,1 % TM und in der Gruppe „Raps“ 0,45 m<sup>3</sup> mit 5,1 % TM pro Tier an. In Tab. 5 sind die Inhaltsstoffe der Gülle aus beiden Versuchen standardisiert auf einen TM-Gehalt von 5 % zusammengestellt. Bei der Ferkelgülle lagen die Werte für Gesamt-N und NH<sub>4</sub>-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O und MgO alle im Erwartungsbereich der Gruber Tabelle [9]. In der Mastgülle waren Gesamt-N, NH<sub>4</sub>-N und MgO höher als in der Gruber Tabelle. In der Gruber Tabelle sind jedoch die gasförmigen N-Lagerungs- und Ausbringungsverluste schon berücksichtigt. Kupfer, Zink, Mangan und Eisen bewegen sich im Bereich der in Schwarzenau ermittelten Werte für Ferkel- und Schweinemastgüllen.

Tab. 5: Gülleinhaltsstoffe je m<sup>3</sup> Gülle (Angaben standardisiert auf 5 % TM)

|                               |    | Ferkelversuch |        | Mastversuch |        | Tabelle Grub [9] |
|-------------------------------|----|---------------|--------|-------------|--------|------------------|
|                               |    | „Soja“        | „Raps“ | „Soja“      | „Raps“ |                  |
| pH-Wert                       |    | 7,4           | 7,4    | 7,4         | 7,2    |                  |
| Org. Substanz                 | kg | 39,6          | 39,0   | 36,4        | 37,9   |                  |
| N-gesamt                      | kg | 3,9           | 4,4    | 6,0         | 5,4    | 3,5-5,0          |
| NH <sub>4</sub> -N            | kg | 2,8           | 3,1    | 4,9         | 4,2    | 2,0-3,5          |
| K <sub>2</sub> O              | kg | 1,8           | 2,1    | 3,3         | 2,4    | 1,5-4,0          |
| MgO                           | kg | 1,2           | 1,3    | 1,5         | 1,6    | 0,8-1,4          |
| CaO                           | kg | 1,7           | 1,7    | 1,8         | 2,0    |                  |
| Na                            | kg | 0,4           | 0,5    | 0,6         | 0,5    |                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | kg | 2,2           | 2,3    | 2,7         | 2,3    | 1,5-2,7          |
| S                             | kg | 0,3           | 0,3    | 0,2         | 0,3    |                  |
| Cu                            | g  | 42            | 40     | 8           | 6      |                  |
| Zn                            | g  | 75            | 78     | 41          | 32     |                  |
| Mn                            | g  | 32            | 31     | 38          | 26     |                  |
| Fe                            | g  | 87            | 72     | 64          | 41     |                  |

## 4 Schlussfolgerungen

Mit hohen Anteilen an Rapsextraktionsschrot im Ferkelaufzuchtfutter lassen sich gute bis sehr gute Leistungen erzielen. Im Mastversuch konnten die mit Rapsextraktionsschrot gefütterten Tiere trotz nährstoffidentischer Mischungen das Zunahmenniveau der Kontrollgruppe mit Sojaextraktionsschrot nicht erreichen. Der Futteraufwand war dementsprechend erhöht. Rapsextraktionsschrot in sehr hohen Anteilen im Mastfutter führte nicht zu einem gleichwertigen Fleischansatzniveau wie bei den Kontrolltieren.

Damit Rapsextraktionsschrot in den Schweinetrog wandert, muss er „preiswert“ bzw. bezüglich der Futterkosten überlegen sein. Dabei müssen Zusatzkosten für mögliche Leistungseinbußen, technischen Mehraufwand, Verschlechterung der P-Bilanz einhergehend mit mehr Gülleflächenbedarf sowie geringere Schlachtkörperwerte beim Einkaufspreis des Rapsextraktionsschrotes mit berücksichtigt werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Jeroch ,H. (2013): Möglichkeiten der Futtermittelverbesserung beim Geflügel. In: 12. BOKU-Symposium Tierernährung, Wien: Herausgeber: Mair, C., Kraft, M., Wetscherek, W., Schedle, K., 19-26
- [2] Weber, M., Stenzel, P., Grimmer, A, Gieschler, U. (2007): Zum Einfluss von hohen Rapsextraktionsschrotanteilen in der Mastschweinefütterung. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2007. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 157-159
- [3] Weiss, M., Sommer, W., Weber, M. (2007): Untersuchungen von Rapsextraktionsschrot bei Mastschweinen unter Praxisbedingungen. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2007. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 154-156
- [4] Weiss, M., Sommer, W., Weber, M. (2008): Rapsextraktionsschrot an Mastschweine auch in hohen Mischungsanteilen bewährt. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2008. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 176-178
- [5] Weber, M., Stenzel, P., Grimmer, A, Gieschler, U. (2010): Einsatz von Rapsextraktionsschrot in der Ferkelfütterung. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2010. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 195-198
- [6] Weiß, J., Schöne, F. (2008): UFOP-Praxisinformation Rapsextraktionsschrot in der Schweinefütterung, aktualisierte Auflage 2008. Herausgeber: Union zur Förderung von Öl- und Eiweißpflanzen e.V., 24 Seiten
- [7] GfE (2006): Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung von Schweinen. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 10, DLG-Verlag Frankfurt a. Main
- [8] Kirchgeßner (2011): Tierernährung, 13. neu überarbeitete Auflage von Roth, Schwarz und Stangl, DLG-Verlag, Frankfurt a. Main, 648 Seiten
- [9] LfL (2011): LfL-Information Futterberechnung für Schweine, 19. Auflage, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, 104 Seiten



---

# Heimisches Eiweißfutter und Verbraucher: Umfrageergebnisse und Expertenbewertungen

Anne Uhl, Josef Schnell

LfL, Institut für Ernährungswirtschaft und Märkte, Menzinger Str. 54, 80638 München

Anne.Uhl@LfL.bayern.de, Josef.Schnell@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten hat im März 2011 das Aktionsprogramm „Heimische Eiweißfuttermittel“ initiiert. Ziel ist es, die Tierhaltung in Bayern unabhängiger von Sojaimporten aus Übersee zu machen. Im Projekt „Markt – Wertschöpfung – Transparenz“ des Institutes für Ernährungswirtschaft und Märkte (IEM) wurde unter anderem untersucht, inwieweit sich tierische Lebensmittel „hergestellt aus heimischem Eiweißfutter“ vermarkten lassen und ob diese vom Verbraucher akzeptiert werden. Hierzu wurden Expertengespräche bei verschiedenen Herstellern/Vermarktern sowie eine schriftliche Mehrthemenbefragung bei über 1.000 Verbrauchern in Bayern durchgeführt, [1].

Bei den Ergebnissen der Verbraucherbefragung liegt die Herkunft des Futtermittels in der Rangfolge sowohl bei ungestützter als auch bei gestützter Frage insgesamt deutlich hinter Geschmack, Frische oder Haltung der Tiere. Es besteht aber ein klarer Zusammenhang zwischen Wichtigkeit der Futterherkunft und regionalen Produkten, auf die bestimmte Verbraucher/-gruppen stark achten. In den Expertengesprächen wird von Vertretern aus der Wirtschaft und Verbänden geäußert, dass „Heimisches Futter“ grundsätzlich interessant und positiv ist, aber bezogen auf die Vermarktbarkeit beim Verbraucher viel Aufwand betrieben werden muss. Während für regional begrenzte Initiativen und ausgewählte Markenprogramme die Auslobung von heimischem Futter teils bereits als zielführend beurteilt wird, wird eine stärkere Marktdurchdringung aber nur langfristig und sehr eingeschränkt als umsetzbar eingestuft. Unter bestimmten Rahmenbedingungen kann ein Angebot von Produkten aus heimischem Futter das Gesamtimage einer Firma/Markenstrategie verbessern.

## Summary

The Bavarian State Ministry for Food, Agriculture and Forestry (StMELF) has started the action program “Heimische Eiweißfuttermittel“ (“local protein feeding stuff”) in March 2011. The major aim of this program is to reduce the imports. This present study analyzes the potential of distribution food (milk, meat and eggs), originated from animals which are generated with local protein feed stuff.

For this study over 1.000 Bavarian consumers were surveyed. They were asked in an open and a closed question how important feeding stuff is. In both cases “taste”, “freshness”

and “animal welfare” are in the ranking list in priority over “feeding stuff”. There is a connection between regional products and the importance of feeding provenance. Further experts from economics and their organizations were asked. They said that “local feeding stuff” is interesting and positive. But based on merchandising to consumers a lot of effort is necessary. “Local feeding stuff” branded on products is for local initiatives and selected product ranges partially constructive and meaningful. A whole market penetration for these products is limited. Under particular conditions the offering of products made of “local feeding stuff” could improve the image of a company or a brand strategy.

## **1 Einleitung**

Die Kaufentscheidung von Verbrauchern wird von verschiedenen Faktoren und Produkteigenschaften beeinflusst. Im Rahmen des Aktionsprogramms „Heimische Eiweißfuttermittel“ wurde im Projekt „Markt-Wertschöpfung-Transparenz“ unter anderem untersucht, inwieweit Verbraucher die Produkteigenschaft „aus heimischem Futter hergestellt“ akzeptieren. Um das entsprechende Verbraucherverständnis besser nach zu vollziehen und deren Erwartungen bzw. Anforderungen untersuchen zu können, wurde im November 2012 bei bayerischen Verbrauchern eine schriftliche Mehrthemenbefragung durchgeführt. Zudem wurden in Expertengesprächen Vertreter aus Wirtschaft und Verbänden bezüglich deren Einschätzungen interviewt.

## **2 Material und Methoden**

Im Vorfeld der Verbraucherbefragung wurden verschiedene Unternehmen (Molkereien, Vertreter der Fleischbranche, Eiervermarkter und des Lebensmitteleinzelhandels), Direktvermarkter und Vertreter von Verbänden in Expertengesprächen befragt. Der verwendete Gesprächsleitfaden stellte sicher, dass die Befragung für alle Experten weitgehend standardisiert durchgeführt werden konnte.

Aus den vorausgegangenen Expertengesprächen wurden Thesen formuliert (siehe Tab.1). In Zusammenarbeit mit einem Marktforschungsinstitut<sup>6</sup> wurden hieraus die Fragen für die schriftliche Verbraucherbefragung entwickelt. Mit einer schriftlichen Mehrthemen-Befragung in Bayern wurden im November 2012 Daten bei Verbrauchern in Privathaushalten erhoben. Allgemeine sozioökonomische Fragen, wie Alter, Geschlecht oder Nettoeinkommen waren enthalten. Die Ausschöpfungsquote der versandten Fragebogen lag, bezogen auf die bereinigten Adressen (wie „unzustellbar“ oder „verstorben“), bei 43,9 %. Für das repräsentative Ergebnis konnten 1.016 Fragebögen ausgewertet werden.

---

<sup>6</sup> mifm München – Institut für Marktforschung GmbH

Tab. 1: Beispiele zur Auswahl von Thesen der Verbraucherbefragung als Basis für die Entwicklung des Fragenkonzepts

| Nummer  | Grundthesen  |
|---------|--|
| These 1 | Verbraucher müssen auf die Verwendung von Futter hingewiesen werden, um das Futter als Einkaufskriterium zu werten.    |
| These 2 | Bei regionalen Lebensmitteln geht der Verbraucher davon aus, dass auch regionales Futter verwendet wird.               |
| These 3 | Für Verbraucher ist die Herkunft des Futters ein Einkaufskriterium.  |
| These 4 | „Futter“ ist für Verbraucher besser verständlich als „Eiweißfutter“.   |
| These 5 | Verbraucher erwarten bei der Auslobung der Futterherkunft einen Anteil von 100 % Futter aus der entsprechenden Region. |

### 3 Ergebnisse der Befragungen

Aus den Expertengesprächen sowie aus der Befragung der Verbraucher lässt sich ableiten, dass „Eiweißfutter“ am Verkaufsregal schwer kommuniziert werden kann. Für die Verbraucherkommunikation sollte der Begriff „Futter“ verwendet werden, da der durchschnittliche Verbraucher den Begriff „Eiweißfutter“ nicht ausreichend versteht.

#### „Futter“ als Eigenschaft von tierischen Lebensmitteln

Mit der Verbraucherbefragung konnte ermittelt werden, in welchem Verhältnis die Herkunft des Futters zu anderen Produkteigenschaften steht. Hierzu wurde in einer offenen Frage (ungestützt) erhoben, wie wichtig Futter von tierischen Lebensmitteln durch die Verbraucher beurteilt wird. Die Befragungsergebnisse zeigen, dass Futter bei den Verbrauchern als Einkaufskriterium eine untergeordnete Rolle spielt. Andere Faktoren wie Herkunft und Haltung der Tiere oder Frische dominieren. Das Futter liegt in der Reihenfolge auf Platz 11 und wurde von 1 % der Befragten erwähnt. Demzufolge ist das Futter beim Einkauf für den Verbraucher derzeit wenig präsent. Auf der anderen Seite wurde „Futter“ immerhin noch von 1 % der Befragten genannt, obwohl diese Produkteigenschaft bislang nicht oder kaum kommuniziert wird (siehe Abb. 1).

Werden die Verbraucher auf Futter als Einkaufskriterium direkt hingewiesen, steigt das Bewusstsein. 38 % der Befragten achten „stark“ oder „sehr stark“ auf die Herkunft des Futters. Dennoch rangiert die Herkunft des Futters am Ende von 10 aufgeführten Kriterien. Auch „gestützt“ sind die Herkunft der Tiere, der Geschmack sowie die Frische auf den vorderen Plätzen. Überdurchschnittlich stark achten Ältere und Befragte mit niedriger Bildung auf die Herkunft des Futters. Höher Gebildete und junge Befragte bewerten die Herkunft des Futters unterdurchschnittlich. Ein Viertel der Befragten beachtet das Futter überhaupt nicht (siehe Abb. 2).

Was ist Ihnen beim Einkauf von tierischen Lebensmitteln, wie Rindfleisch, Schweinefleisch, Geflügel, Milchprodukte und Eier besonders wichtig? (ungestützt)

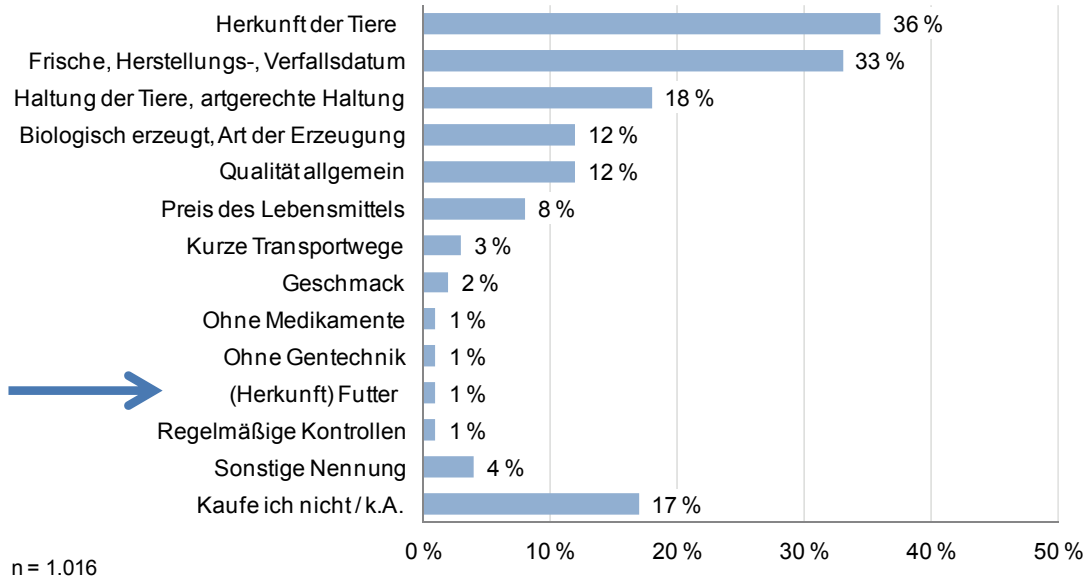


Abb. 1: Genannte wichtige Eigenschaften beim Einkauf von tierischen Lebensmitteln (ungestützte Frage ohne vorgegebene Antwortmöglichkeiten)

Rindfleisch, Schweinefleisch, Geflügel, Milchprodukte und Eier sind tierische Lebensmittel. Wie sehr achten Sie beim Kauf dieser tierischen Lebensmittel auf die folgenden Kriterien?

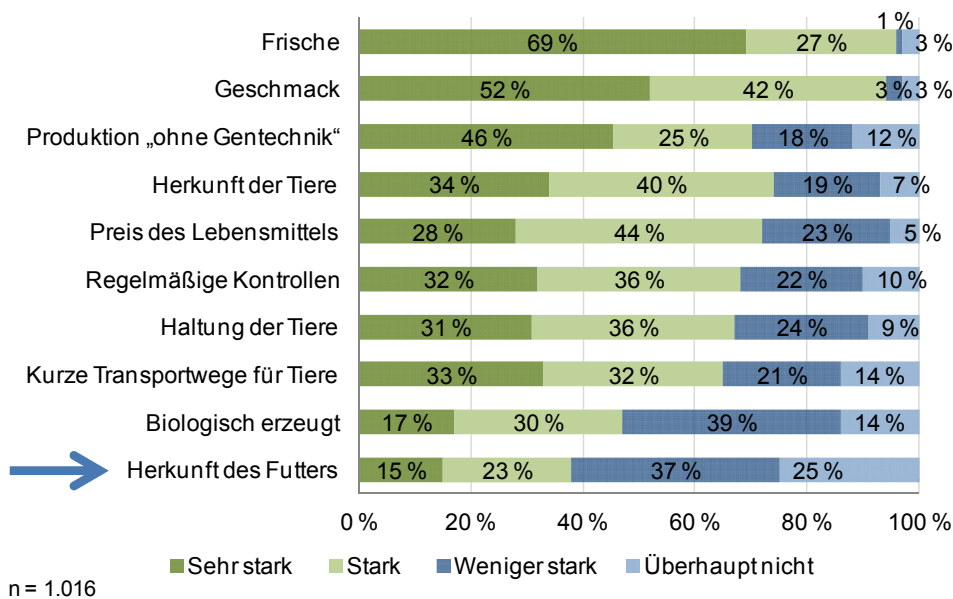


Abb. 2: Wichtige Eigenschaften beim Einkauf von tierischen Lebensmitteln (gestützte Frage)

In den Expertengesprächen wird von Vertreter von Unternehmen zwar geäußert, dass „Heimisches Futter“ grundsätzlich interessant und positiv ist. Zudem wird deutlich, dass „heimisches Futter“ aus verschiedenen Gründen zum positiven Image beiträgt. Allerdings müsste in Bezug auf die Vermarktbarkeit beim Verbraucher viel Aufwand betrieben werden. Die Einschätzungen der Experten wurden durch die Ergebnisse bei der Verbraucherumfrage im Wesentlichen bestätigt.

### Herkunft von tierischen Lebensmitteln

In der Verbraucherbefragung wurde zudem erhoben, ob beim Einkauf eher auf eine bayerische, auf eine deutsche Herkunft oder auf keine Herkunft bei tierischen Lebensmitteln geachtet wird. Im Durchschnitt gaben 47 % der Verbraucher an, auf eine bayerische Herkunft zu achten. Besonders wichtig ist den Verbrauchern die bayerische Herkunft bei Eiern. Bei Geflügelfleisch spielt vor allem eine deutsche Herkunft eine Rolle. Durchschnittlich achten 12 % beim Einkauf von tierischen Lebensmitteln nicht auf die Herkunft. Es ist zu erkennen, dass jene, die auf die bayerische Herkunft achten, auch eher eine Qualitätsorientierung im hohen Preissegment haben.

### Herkunft des Futtermittels bei bayerischen tierischen Produkten

Für 23 % der Befragten ist es „sehr wichtig“, dass bei bayerischen tierischen Lebensmitteln auch das Futter aus Bayern ist (siehe Abb. 3). Im Hinblick auf Marketingmaßnahmen ist gegenwärtig vor allem diese Gruppe interessant. Überdurchschnittlich viele Verbraucher, die zunächst auf die „bayerische Herkunft“ der Lebensmittel achten, erwarten, dass auch das Futter aus Bayern kommt. Bei jüngeren Befragten (unter 30), aber auch bei den unter 40-Jährigen ist die Herkunft des Futters nicht so relevant wie bei Älteren.

Ganz allgemein gesehen, wie wichtig ist Ihnen bei tierischen Lebensmitteln (Fleisch, Milchprodukte, Eiern) aus Bayern, dass auch das Futter aus Bayern kommt?

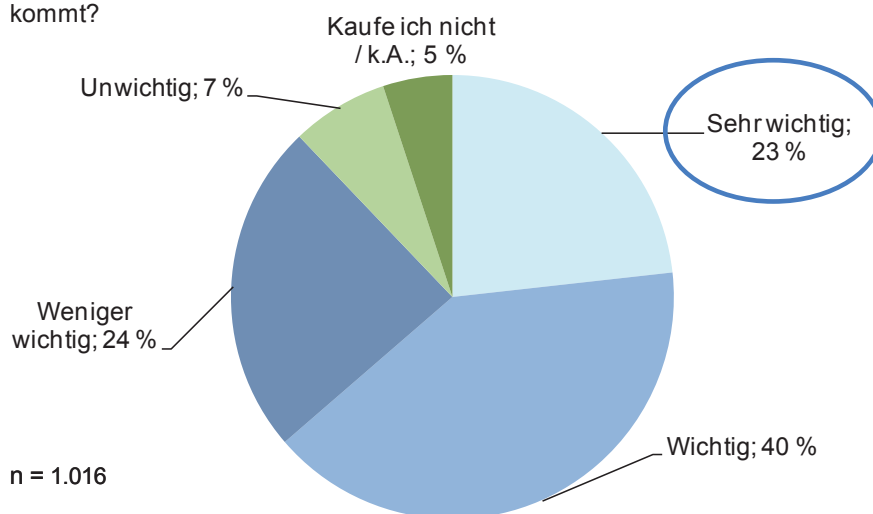


Abb. 3: Wichtigkeit der Futterherkunft bei bayerischen Produkten

Woher Futter, das für die Erzeugung von bayerischen tierischen Produkten verwendet wird, nach Ansicht der Verbraucher stammen sollte, ist für die praktikable Umsetzung von Programmen von großer Bedeutung. 18 % der Befragten sind der Meinung, dass bei bayerischen Lebensmitteln auch das eingesetzte Futter aus einem bestimmten Umkreis des Erzeugerbetriebes kommen sollte. Von diesen 18 % der Befragten, gibt über die Hälfte an, dass der Umkreis kleiner als 50 km sein sollte. Im Durchschnitt liegt der Umkreis bei 76 km.

Für 50 % der Befragten ist es wichtig, dass die Futtermittel für bayerische Lebensmittel aus Bayern sind. Die Herkunft aus Deutschland präferieren 36 % und 5 % der Befragten geben Europa an.

Woher sollte Ihrer Meinung nach Futter kommen, das für die Erzeugung von bayerischem Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch sowie Milchprodukten bzw. Eiern verwendet wird?

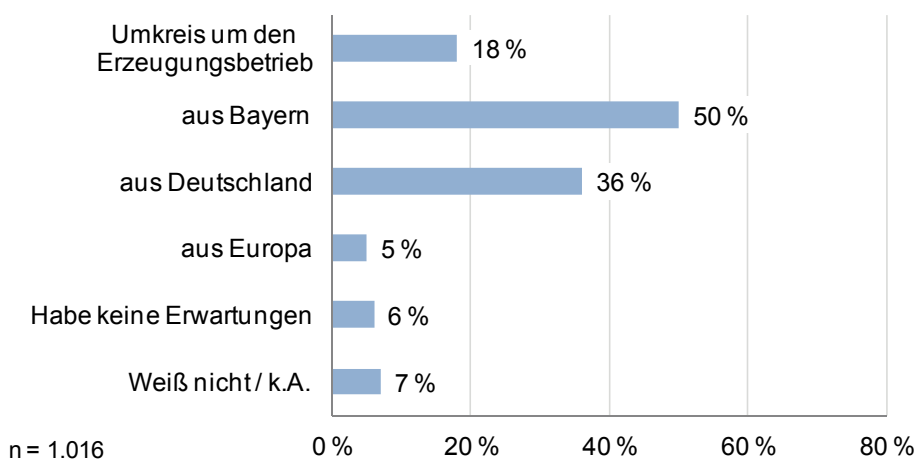


Abb. 4: Präferierte regionale Herkunft des Futters bei bayerischen tierischen Produkten

In der Verbraucherbefragung wurde des Weiteren erhoben, wie hoch der bayerische Anteil des Futters mindestens sein müsste, damit es diese Herkunftsbezeichnung tragen darf. Im Durchschnitt erwarten die Befragten einen Anteil von 80 %. Fast 50 % der Befragten erwartet, dass der bayerische Anteil mehr als 70 % sein müsste.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Verbrauchergruppe mit regionalem Bezug sieht einen klaren Zusammenhang zwischen regionalen Produkten und Wichtigkeit der Futterherkunft. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Öko-Verbraucherbefragung von Wägeli und Hamm (2012) [2]. Darin wird beschrieben, dass Öko-Verbraucher ebenfalls zu „regionalem Futter“ überwiegend positive Assoziationen haben. Mit dem Bewusstsein aus der gestützten Fragestellung wünschen sich zwei Drittel aller Verbraucher, dass für bayerische tierische Lebensmittel die Futtermittel auch aus Bayern oder dem näherem Umkreis des Erzeugers stammen sollen. Bei einem Teil wird die Futterherkunft aber nicht die Bereitschaft erhöhen, einen angemessenen Mehrpreis zu bezahlen.

Die Verbraucherkommunikation für „Futter“ wird von den Experten als aufwändig eingeschätzt. Nachdem „Futter“ im Vergleich zu anderen Produkteigenschaften beim Verbraucher aber noch im Hintergrund steht, wird eine gezielte Auslobung von Futter gegenwärtig nur für regional begrenzte Initiativen und ausgewählte Markenprogramme sowie in Verbindung mit weiteren Kriterien als zielführend beurteilt. Kombinationsfähige Kriterien könnten Haltung (Tierwohl) und Herkunft der Tiere oder Nachhaltigkeit sein. Durch die Verwendung von heimischem Futter kann das Gesamtimage einer Firma/Markenstrategie

zusätzlich verbessert werden. Eine hohe Marktdurchdringung der Produkteigenschaft „heimisches Futter“ wird nur langfristig und sehr eingeschränkt als umsetzbar eingestuft.

## **5 Literaturverzeichnis**

- [1] Uhl, A.; Schnell, J. (2012): Zwischenbericht des Aktionsprogramm „Heimische Eiweißfuttermittel“ Teilprojekt Markt – Wertschöpfung – Transparenz. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) – Institut für Ernährung und Markt (IEM ). München, 62 Seiten – unveröffentlicht
- [2] Wägeli, S.; Hamm, U. (2012): Schaffung von Marktanreizen für den heimischen Futterbau über bessere Absatzmöglichkeiten für tierische Öko-Produkte aus regionaler Erzeugung. Universität Kassel, Fachbereich Agrar- und Lebensmittelmarketing unter [www.orgprints.org/21638](http://www.orgprints.org/21638), 143 Seiten, Witzenhausen





## Optimierte und nachhaltige Biogasfruchtfolgen

Dorothea Hofmann<sup>(1)</sup>, Robert Simon<sup>(1)</sup>, Ewald Stickse<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 4, 85354 Freising

<sup>(2)</sup>LfL, Abteilung Versuchsbetriebe, Lange Point 12, 85354 Freising

Dorothea.Hofmann@LfL.bayern.de

### Zusammenfassung

Standortangepasste ausgewogene Fruchtfolgen sind das Fundament nachhaltiger Landwirtschaft. Für die Biogasproduktion wird hauptsächlich Silomais als Substrat verwendet, der oftmals in engen Fruchtfolgen zum Anbau kommt. Aus ökologischen Gründen und im Hinblick auf eine nachhaltige Produktion ist es wichtig, maisbetonte Fruchtfolgen unter Einbeziehung weiterer Kulturpflanzen, die sich für eine Nutzung als Biogassubstrat eignen, aufzulockern.

In einem vierjährigen (2007-2010) Parzellenversuch an drei bayerischen Standorten wurden ausgewählte Wintergetreidearten (Gerste, Roggen, Triticale) mit Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) in Kombination mit möglichen Zweitfrüchten hinsichtlich ihrer Ertragsleistung an Trockenmasse und Methan bewertet. Zur Abschätzung der Nachhaltigkeit wurden Energiebilanzen erstellt.

Die Versuche zeigten keine Ertragsvorteile von Anbausystemen mit Getreide-GPS gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung bzw. in Kombination mit Grünroggen. Abhängig von der Standortgüte kann mit Getreide-GPS als Hauptfrucht oder in Kombination mit Zweitfrüchten (nicht Mais) 65 - 90% des Maisertrages erwirtschaftet werden. Dem gegenüber stehen viele pflanzenbauliche Vorteile, die in eine Gesamtbewertung des Anbausystems einfließen müssen. Mehrschnittige, humusmehrende Gräser können über eine Untersaat gut in die Fruchtfolge etabliert werden und insbesondere auf niederschlagsreichen Standorten hohe Erträge liefern. Der Anbau von Silomais hat die höchste Energieeffizienz aller untersuchten Kulturen. Andere Verfahren erreichen das Niveau des Mais, bedingt durch einen höheren Input oder geringere Erträge, nicht.

### Summary

Sustainable agriculture is based upon balanced crop rotations adapted to local conditions. However, mainly maize cultivated in narrow crop rotations is utilized for German biogas production. Thus, to achieve the goal of a sustainable production of bioenergy it is necessary to include other crops suitable for biogas production than maize into commonly used crop rotations.

In a field experiment conducted on three Bavarian sites in the years 2007-2010, several winter grains (barley, rye, triticale) were tested as whole crop silage with different catch

crops, and dry matter and methane yield were measured. To provide an informative basis for sustainability, energy balances were calculated.

Experiments revealed no yield advantages for whole plant silage versus maize silage. Cultivation adapted to local conditions of tested crop rotations yielded 65-90 % of maize. Still, other benefits like accumulation of organic matter in these combinations have to be considered. Maize showed the highest energy efficiency of the crop rotations tested, due to relatively low inputs combined with high dry matter yields.

## 1 Einleitung

Die Biogassubstratproduktion wird überwiegend durch den Anbau von ertragsstarkem und gut vergärbarem Silomais bestimmt. Überhöhte Maisanteile in der Fruchtfolge bergen aber neben anderen ökologischen Problemen langfristig die Gefahr des Rückganges der Bodenfruchtbarkeit und damit auch des Ertragspotentials. Um Fruchtfolgen ausgewogen zu gestalten, ist der Anbau weiterer Substratpflanzen erforderlich. Der Einsatz von Getreide in der Fruchtfolge bietet eine Vielzahl an pflanzenbaulichen Vorteilen, wie den verminderten Nährstoffaustrag durch die winterliche Begrünung, geringere Erosionsanfälligkeit der Böden und eine Erweiterung der Möglichkeiten einer pflanzenbaulich sinnvollen Gärrestverwertung. Zudem bedingt die Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) einen früheren Erntezeitpunkt gegenüber der Körnernutzung, so dass weitere Kulturarten als Folgefrucht in die Fruchtfolge integriert werden können.

Um praxisrelevante Aussagen zum optimierten Einsatz von Getreidearten mit Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und möglichen Zweitfrüchten in der Fruchtfolge beurteilen zu können, wurden in einen vierjährigen Parzellenversuch an drei Standorten das Ertragspotential hinsichtlich Trockenmasse (TM) und Methan im Vergleich zu Silomais erfasst.

Für die Bewertung der Nachhaltigkeit der Anbaumöglichkeiten wurden der Netto-Energieoutput und die Energie-Effizienz der Einzelfrüchte und der Anbaukombinationen ermittelt.

## 2 Material und Methoden

An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurde in den Jahren 2007-2010 an drei repräsentativen Standorten in Bayern (Ansbach: trocken, Freising: feuchtkühl, Straubing: warm) ein Parzellenversuch zur Ermittlung der Trockenmasse, des Trockensubstanzgehaltes und der spezifischen Methanausbeute von verschiedenen Wintergetreidearten sowie ausgewählter Zweitfrüchte durchgeführt.

Als Getreidearten kamen Grünroggen, Wintergerste, Winterroggen und Wintertriticale zum Anbau. Es wurde eine ortsübliche Produktionstechnik verwendet. Geerntet wurde zu drei Zeitpunkten im Zeitfenster von der beginnenden Milchreife bis mittleren Teigreife, was in etwa der optimalen Siloreife von 28-40 % Trockensubstanzgehalt entspricht. Die Ernte des Grünroggens fand bereits Mitte des Ährenschiebens bei ca. 18 % Trockensubstanzgehalt statt. Die ausgewählten Zweitfrüchte Silomais, Hirse (*Sorghum bicolor*), Sonnenblume, Hafer, Sommertriticale und Weidelgräser im Blank- und Untersaatverfahren wurden entsprechend der gestaffelten Ernte zu zwei Saatzeitpunkten (Anfang Juni, Mitte Juni) gesät. Die Saat erfolgte möglichst rasch nach der Ernte der Getreideart. Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz wurden örtüblich optimal durchgeführt.

Die Erträge der Trockenmasse wurden durch eine Trocknung bei 105 °C ermittelt. Die spezifischen Methanausbeuten wurden in der Batch-Versuchsanlage am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der LfL nach den Richtlinien der VDI 4630 (ANONYMUS 2006) ermittelt. Der Methanhektarertrag errechnet sich aus dem Produkt aus dem organischen Trockenmasseertrag und der spezifischen Methanausbeute. Die für die Berechnung des organischen Trockenmasseertrags benötigte Rohasche wurde von der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der LfL bestimmt.

Zur Erstellung der Energiebilanzen kam das Umwelt- und Betriebsbilanzierungs-Modell REPRO (HÜLSBERGEN 2003) zum Einsatz. Die Energiekennzahlen werden auf der Grundlage des Energieoutputs im Erntegut und des fossilen Energieinputs in Form von Kraftstoff, Betriebsmitteln, Maschinen und Geräten gebildet. Es wurden alle In- und Outputs bis hin zur Ernte berücksichtigt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird beispielhaft nur der Standort Freising für die Darstellung der Energie-Effizienz herangezogen.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### Erstfrucht

Abb. 1 zeigt die Trockenmasseerträge der Getreidearten zu den unterschiedlichen Erntezeitpunkten gemittelt über die Jahre und Standorte. Das Ertragspotential steigt mit Abfolge der Erntereife. Die frühreife Wintergerste bringt 100-125 dt TM ha<sup>-1</sup>. Winterroggen zeigt ein Ertragspotential von 120-140 dt TM ha<sup>-1</sup>. Als ertragsstärkste Art stellt sich Wintertriticale mit 140-160 dt TM ha<sup>-1</sup> dar, die zudem den höchsten täglichen Ertragszuwachs von 20 dt TM/Woche verzeichnet. Der Erntetermin Mitte bis Ende Juni liegt aber so spät, dass der Anbau einer Zweitfrucht mit Substratnutzung in aller Regel nicht erfolgsversprechend ist. Triticale in Hauptfruchtstellung angebaut bringt 65% des Maisertrages, dessen Ertrag im Mittel über die Jahre und Standorte bei 244 dt TM ha<sup>-1</sup> liegt. Im Nachbau bieten sich Weidelgräser oder ein Zwischenfruchtanbau mit den bekannten positiven Effekten auf die Fruchtfolge an. Ein Zweitfruchtanbau ist aufgrund des frühen Erntetermins der Gerste und des Roggens möglich. Die sehr frühe Ernte des Grünroggens liefert im Mittel 70 dt TM ha<sup>-1</sup> und bietet eine ausreichend lange Vegetationszeit für einen nachfolgenden ertragreichen Hauptfruchtanbau.

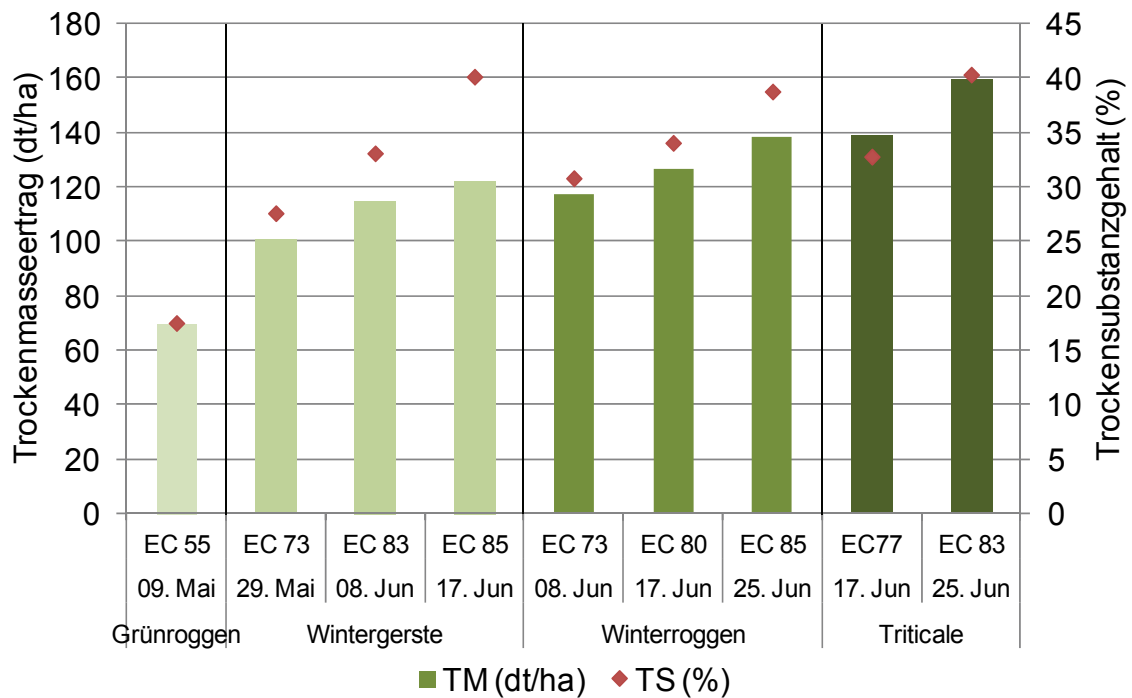


Abb. 1: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalt von Wintergetreidearten bei GPS-Nutzung in Abhängigkeit vom Erntetermin (Mittel 3 Orte, 2007-2010)

Die spezifischen Methanausbeuten der verschiedenen Getreidearten zu den unterschiedlichen Erntezeitpunkten liegen im Bereich von 340 – 365 NI/kg oTS. Sie unterscheiden sich nur geringfügig und nicht signifikant. Somit spiegeln die daraus errechneten Methanhektarerträge im Bereich von 3640 – 4670 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> das Bild der Trockenmasseerträge wider. Die für den Landwirt wirtschaftlich relevante Größe stellt damit der Trockenmasseertrag dar.

## Zweitfrüchte

Die Erträge und Trockensubstanzgehalte der Zweitfrüchte werden, gemittelt über die Jahre und Standorte, in Abb. 2 dargestellt und schwanken in einem weiten Bereich. Der Silomais präsentiert sich auch als Zweitfrucht als ertragsstärkste Kultur mit knapp 150 dt TM ha<sup>-1</sup> bei einem Saattermin Anfang Juni. Mit der Verschiebung der Saat um ca. 2 Wochen nimmt der Ertrag bei allen Kulturen mit Ausnahme der Sommertriticale ab. Scheinbar haben die Tageslängen einen Einfluss auf Ertragsbildung und Gesundheit der Pflanzen. Folgeversuche bestätigten, dass es zu einem Ertragsoptimum bei einem Saatzeitpunkt Anfang Juli kommt.

Für die Anbauwürdigkeit der Zweitfrucht ist aber nicht nur der Ertrag ausschlaggebend, sondern auch der Trockensubstanzgehalt des Erntegutes. Dieser muss für die Silierung ausreichend hoch sein, um sicherzustellen, dass bei der Lagerung kein Sickersaft anfällt. Zudem gehen hohe Wassergehalte im Erntegut beim Transport zu Lasten der Wirtschaftlichkeit. Mit Ausnahme der Sommergetreidearten und des zu Anfang Juni gesäten Mais wiesen alle Zweitfrüchte einen TS-Gehalt unter 25 % auf und waren damit nicht silierfähig.

Bedingt durch die unzureichenden Trockensubstanzgehalte insbesondere bei Sonnenblume und Sorghumhirse sowie die geringen Erträge bei Hafer und der hohen Krankheitsanfälligkeit bei Sonnenblumen und Hafer sind diese Zweitfrüchte als derzeit nicht anbauwürdig einzustufen. Hirse ist aber in den letzten Jahren züchterisch intensiv bearbeitet worden, so dass davon auszugehen ist, dass in absehbarer Zeit frühreife Sorten zu Verfügung stehen können.

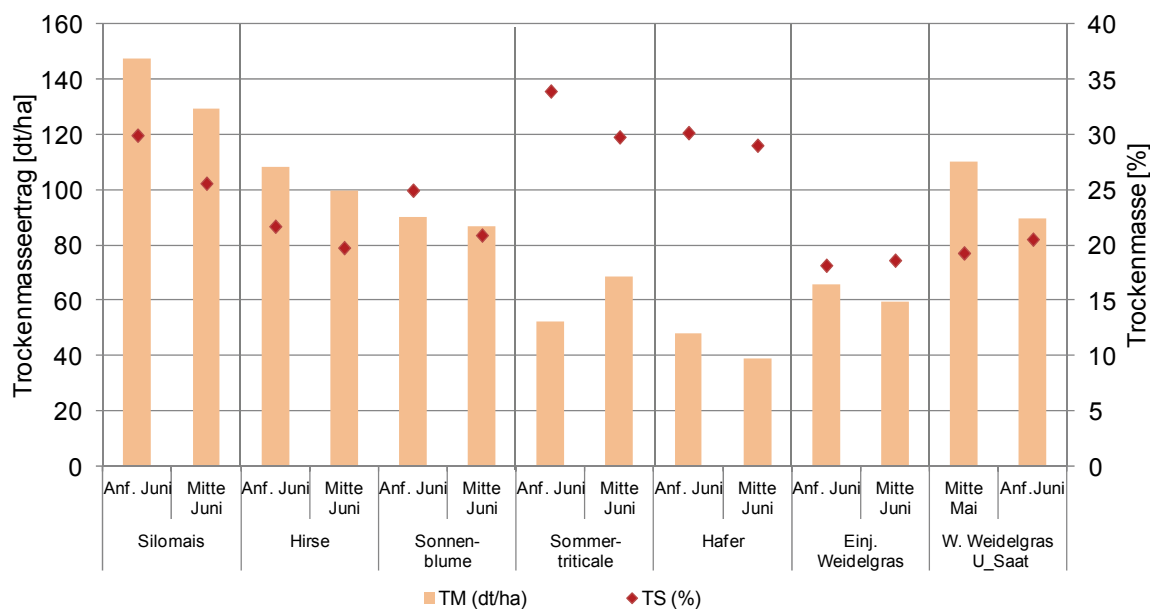


Abb. 2: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalt ausgewählter Zeitfrüchte in Abhängigkeit vom Saattermin (Mittel 3 Orte, 2007-2010)

Zur Prüfung kamen auch mehrschnittigen Gräser. Die Ertragsleistung wurde für einjähriges Weidelgras, das als Blanksaat nach der Getreideernte etabliert wurde, und für eine Mischung aus Welschem und Deutschem Weidelgras, welches als Untersaat gleichzeitig mit der Deckfrucht Winterroggen gesät wurde, ermittelt. Die Weidelgrasmischung - im Untersaatverfahren etabliert - zeigte sich als ertragsstark. Bei einem frühen Erntetermin der Deckfrucht Anfang Mai konnten je nach Standort mit 3-5 Schnitten 111 dt TM ha<sup>-1</sup> erreicht werden. Die späte Ernte der Deckfrucht Anfang Juni erlaubte noch 3 Schnitte mit 87 dt TM ha<sup>-1</sup>.

Ackergräser stellen hohe Ansprüche an die Wasser- und Nährstoffversorgung, dies bedingt eine starke Standortabhängigkeit. Tab. 1 zeigt die Ertragsleistung der Weidelgräser im Untersaatverfahren (Deckfruchternte Anfang Juni) in Abhängigkeit vom Standort.

Tab. 1: Trockenmasseerträge Deckfrucht und Untersaat im Vergleich zum Mais in Abhängigkeit vom Standort

|                  | <b>Deckfrucht</b><br>Winterroggen<br>[dt ha <sup>-1</sup> ] | <b>Untersaat</b><br>Weidelgras<br>[dt ha <sup>-1</sup> ] | <b>Summe</b><br>[dt ha <sup>-1</sup> ] | <b>Mais</b><br>[dt ha <sup>-1</sup> ] | <b>%<br/>Mais</b> |
|------------------|---|--|--|---------------------------------------|-------------------|
| <b>Ansbach</b>   | 89  | 57   | 146                                    | 199                                   | 73                |
| <b>Straubing</b> | 99  | 67   | 166                                    | 275                                   | 60                |
| <b>Freising</b>  | 116   | 123  | 239                                    | 259                                   | 92                |
| <b>Mittel</b>    | <b>103</b>  | <b>87</b>  | <b>190</b>                             | <b>244</b>                            | <b>78</b>         |

Das Ertragspotenzial der Weidelgräser schwankt standortabhängig stark von nahezu 60 dt TM ha<sup>-1</sup> auf dem trockenen Standort Ansbach bis zu gut 120 dt TM ha<sup>-1</sup> auf dem feuchtkühlen Standort Freising. In der Summe können auf Standorten mit günstiger Wasserversorgung Erträge von gut 90 % des Maisertrages erwirtschaftet werden. Damit ist auf solchen Standorten der Winterroggen als Deckfrucht mit einer Weidelgras-Untersaat eine ertragreiche Alternative zum Mais. Zudem wirken die Kulturen vorteilhaft auf die Bodenfruchtbarkeit, Erosionsanfälligkeit und die Gärrestausbringung. Nachteilig zeigt sich das Verfahren durch die mehrfache Beerntung und das notwendige Anwelken des Erntegutes als sehr arbeitsintensiv.

#### **Bewertung der Anbausysteme für den Standort Freising**

Der Vergleich der Verfahren am Standort Freising zeigt, dass Substratproduktion auf einem hohen Niveau ohne Maisanbau nur schwer möglich ist (Abb. 3). Kombinationen mit Mais (Gerste mit Zweitfruchtmais, Mais mit Zwischenfrucht Grünroggen) erreichen im Mittel über die Standorte das Niveau von Mais. Der Standort Freising mit einer guten Wasserversorgung ermöglicht sogar einen Ertragszuwachs gegenüber dem Hauptfruchtmais. Diese hohe Standortgüte macht den Anbau von Winterroggen mit einer Weidelgrasuntersaat zu einem ertragreichen Fruchtfolgeglied. Triticale im Hauptfruchtanbau erreicht 65 % des Ertrages des alleinigen Maisanbaus.

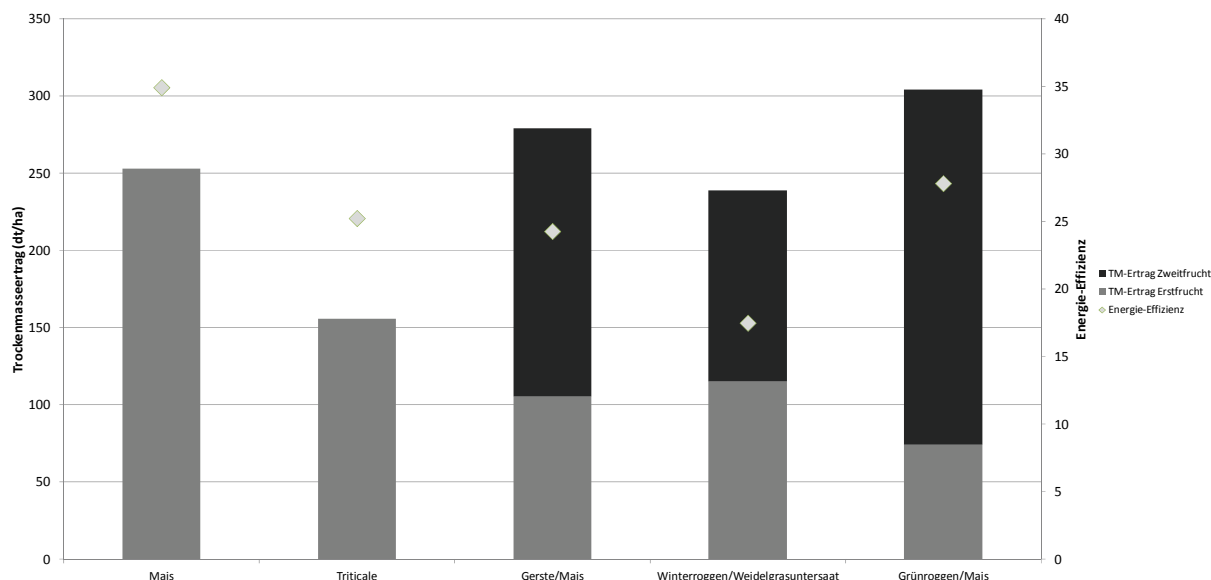


Abb. 3: Energie-Effizienz und Summe der Trockenmasseerträge aus Erst und Zweitfrucht im Vergleich zu Silomais und Triticale als Hauptfrucht für den Standort Freising (Mittel der Jahre 2007-2010)

Die Energie-Effizienz (Output/Input-Verhältnis) der ausgewählten Anbaukombinationen schwankt zwischen 18 und 35. Das Niveau von Silomais wird von den anderen Fruchtartenkombinationen nicht erreicht. Obwohl die Trockenmasseerträge und damit der Netto-Energieoutput sich teilweise (Grünroggen/Mais, Wintergerste/Mais) nicht signifikant von dem des Silomais unterscheiden, ist die jeweilige Energie-Effizienz deutlich geringer gegenüber der von Silomais, weil die Inputs durch den Anbau der zweiten Frucht wesentlich höher sind. Die Kombination Winterroggen/Weidelgrasuntersaat zeigt aus diesem Grund die niedrigste Energie-Effizienz von 18, da durch die hohe Zahl der Schnitte viel Energie eingesetzt werden muss. Obwohl beim Anbau von Wintertriticale alleine weniger Energie eingesetzt wird als beim Silomais, wurde überproportional weniger TM-Ertrag erzeugt, so dass auch diese Einzelfrucht eine geringere Energie-Effizienz aufweist als der Silomais.

Die Betrachtung der Energiekennzahlen reicht jedoch nicht aus, um eine Fruchtfolge hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten, weil der Einfluss des Aufwandes fossiler Brennstoffe die entstehenden Treibhausgasemissionen nicht alleine prägt. Der Zweifruktanbau kann gegenüber dem Silomais Vorteile im Humusaufbau haben, welcher die Bodenfruchtbarkeit erhöht und seinerseits einen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen hat. Eine gesonderte Betrachtung der Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung von Humusreproduktion, Lachgasemissionen und Energieeinsatz ist daher notwendig.

## 4 Schlussfolgerungen

Maisbetonte Fruchtfolgen können mit dem Anbau von Getreide-GPS aufgelockert werden. Die Ertragsleistung an Trockenmasse und Methan aller Getreidearten liegt unter der von Silomais. Lediglich Kombinationen mit Silomais in einem Zweit- oder Zwischenfruchtssystem können Erträge auf dem Niveau von Silomais erreichen. Bei guter Wasserversorgung sind geringe Ertragsvorteile möglich. Die Kombination von Getreide mit Silomais bringt pflanzenbauliche Vorteile durch Erosionsschutz und Schutz vor Nitratverlagerung

und bietet zusätzlich Möglichkeiten der Mulch- und Direktsaat, setzt aber auch eine ausreichend gute Wasserversorgung voraus.

Die Zweitfrüchte Sonnenblume, Sorghumhirse und Hafer müssen aufgrund unzureichender Trockensubstanzgehalte (Sonnenblume und Hirse), geringer Erträge (Hafer) und hoher Krankheitsanfälligkeit (Hafer und Sonnenblumen) derzeit als nicht anbauwürdig zur Produktion von Biogassubstrat eingestuft werden. Durch den hohen züchterischen Fortschritt, der in den letzten Jahren bei Hirse erreicht wurde, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass frühreife Sorten in absehbarer Zeit zur Verfügung stehen werden.

Die ertragsstärkste Getreideart Triticale, als Hauptfrucht angebaut, kommt mit einem Ertrag von 160 dt/ha zu 65 % an den Ertrag des Mais im Hauptfruchtstellung. Der späte Erntetermin Anfang Juli erlaubt keine Substratnutzung einer Folgefrucht mehr, so dass sich im Anschluss ein Zwischenfruchtanbau anbietet, der positive Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit hat.

Auf niederschlagsreichen Standorten verspricht die Etablierung von mehrschnittigen Ackergräsern über eine Untersaat in Winterroggen als Deckfrucht eine ertragsstarke Alternative zum Mais, deren humusmehrende Wirkung einen großen Vorteil in Biogasfruchtfolgen mit der hohen Abfuhr organischer Substanz darstellen kann.

Die spezifische Methanausbeute aller Kulturen lässt sich pflanzenbaulich nicht beeinflussen, so dass die Optimierung des Methanhektarertrages über hohe Trockenmasseerträge anzustreben ist.

Silomais weist die höchste Energieeffizienz auf. Bedingt durch geringere Erträge oder höheren Input kann der alleinige oder kombinierte Anbau von Getreide-GPS dieses Niveau nicht erreichen.

## **5 Literaturverzeichnis**

- [1] Anonymus (2006): Vergärung organischer Stoffe – Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffehebung, Gärversuche. VDI Richtlinie 4630, Verein Deutscher Ingenieure, Seiten
- [2] Hülsbergen, K. - J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag Aachen, Seiten



---

## Mikrobiologische Prozesse steuern und nutzen

Michael Lebuhn, Bernhard Munk, Veronika Dollhofer, Bianca Fröschle

LfL, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Lange Point 6, 85354 Freising

Michael.Lebuhn@lfl.bayern.de

### Zusammenfassung

Die landwirtschaftliche Biogasproduktion ist ein zunehmend wichtiger Bestandteil der Erzeugung regenerativer Energien, um die „Energiewende“ zum Erfolg zu führen. Ihr Ausbau ist auf Konkurrenzfähigkeit und damit auf größtmögliche Prozesseffizienz angewiesen, auf die optimale Zusammenarbeit sehr unterschiedlicher Populationen von Mikroorganismen bei geeigneten Prozessbedingungen. Zur Entwicklung einer gezielten Prozesssteuerung fehlte aber noch vor 20 Jahren das grundlegende Wissen zur Funktion der einzelnen Teilschritte und den Mikroorganismen, die diese durchführen. Erst der Einsatz neuer molekularbiologischer Techniken ermöglichte es, die „Black-box“ Biogasprozess zu erhellen.

An der LfL werden aktuell mit Hilfe moderner Sequenzieretechniken Bioindikatoren zur Prozessdiagnose in unterschiedlichen Gärssystemen entwickelt. Bioinformatisch maßgeschneiderte (RT)qPCR-Systeme für Schlüsselenzyme ermöglichen es, die Akteure wichtiger Teilprozesse und ihre Aktivität anhand der cDNA/DNA-Verhältnisse quantitativ zu verfolgen. Als Frühwarnsystem vor einer Prozessversäuerung wurde der „Metabolische Quotient“ entwickelt. Er zeigt eine Stresssituation für die methanogenen Archaeen früher als die konventionelle prozesschemische Analytik an. Mit diesen Entwicklungen lassen sich Defizite spezifisch identifizieren. Damit und Maßnahmen gezielt ergreifen. Bei prognostizierten Prozessstörungen kann frühzeitig gegengesteuert und die Effizienz des Substratumsatzes verbessert werden.

### Summary

Agricultural biogas production is an increasingly important segment in the generation of renewable energy replacing fossil fuels. Its extension is depending on its competitiveness and therewith on maximum process efficiency, on optimum cooperation of very different microorganisms in a suitable environment. The development of targeted process control has been hampered by the lack of basic knowledge on the partial process mechanisms and the microorganisms performing these. The application of modern molecular biology is shedding light on the black-box biogas process.

Assisted by novel sequencing techniques, bioindicators are being developed at the LfL for process diagnosis in different anaerobic digestion systems. Bioinformatically tailored (RT)qPCR systems targeting key enzymes allow for quantitative tracing the actors of important partial reactions and their activity e.g. by determining cDNA/DNA ratios. The

metabolic quotient was developed as an early warning system of process acidification. It indicates stress metabolism of the methanogenic *Archaea* earlier than conventional process chemistry parameters. These developments allow to identify deficits specifically. Predicted process perturbation can be counteracted in due time, thus improving the efficiency of substrate turnover.

## 1 Einleitung

Nach dem Deutschen „Nationalen Aktionsplan für Erneuerbare Energie“ [1] sollen erneuerbare Energien im Jahr 2020 18% des Brutto-Endenergieverbrauchs decken. Bis 2050 sollen mindestens 80% der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Stand von 1990 vermieden und 60% der nötigen Bruttoenergie (80% des Bruttoelektrizitätsverbrauchs) durch den Einsatz erneuerbarer Energien bereitgestellt werden. Voraussichtlich werden im Rahmen der „Energiewende“ im Jahr 2020 Bioenergie (54 TWh), Solarenergie (40 TWh) und Wasserkraft (32 TWh) neben Windenergie (149 TWh) den größten Teil der Elektrizität bereitstellen [2]. Bioenergie, letztlich fixierte Sonnenenergie, ist dabei nicht nur grundlastfähig. Neben der Grundversorgung mit Elektrizität und Wärme kann die Biomasseverwertung dazu beitragen, Schwankungen in der Energiebereitstellung bedarfsgerecht auszugleichen. Innerhalb der Bioenergie wird Biogas zur Stromerzeugung den Löwenanteil stellen. Gründe hierfür sind z.B. die hohe Energiedichte des Methans und das Bestehen von Speicher- und Transportmöglichkeiten in Form von Gasnetzen, was die Einspeisung von Biomethan neben der Direktverstromung in Blockheizkraftwerken mit gekoppelter Nahwärmeversorgung attraktiv macht. Entsprechend haben sich Biomethananlagen und die Aufbereitungskapazität seit 2011 fast verdoppelt [3] und können einen wichtigen Beitrag zur bedarfsgerechten Energieversorgung leisten.

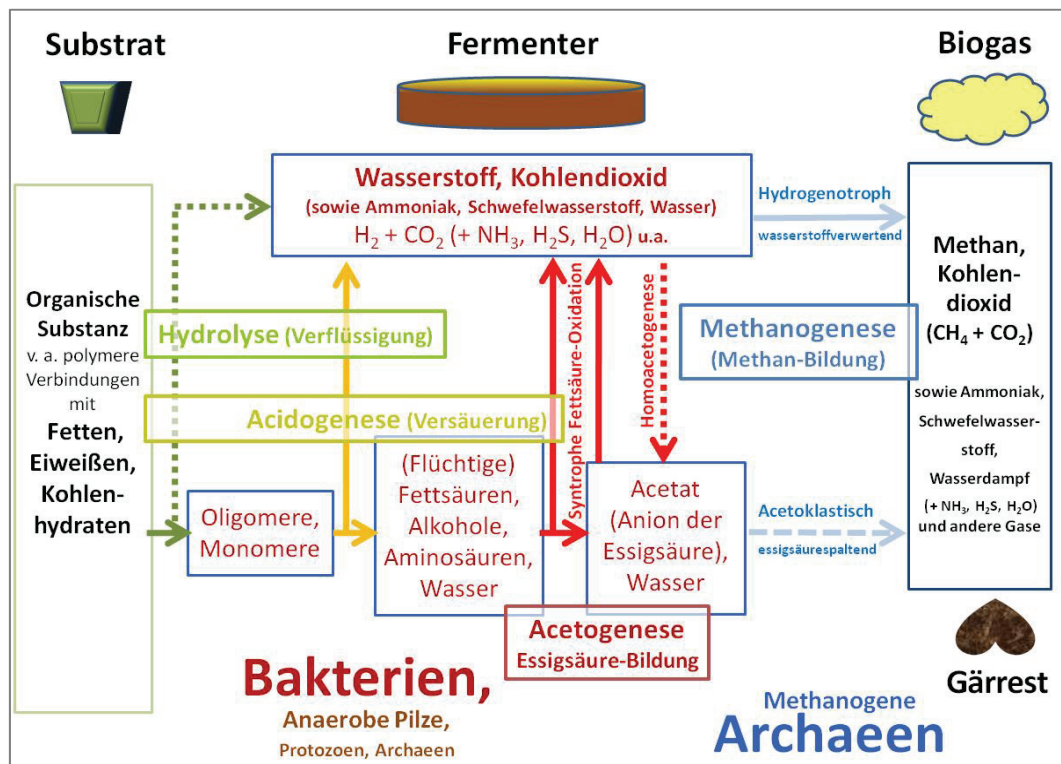


Abb. 1: Aktualisiertes Prozessmodell Biogas mit wichtigen Schritten mikrobieller Umsetzungen

Seit Einführung des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) hat die Biogasproduktion besonders im landwirtschaftlichen Bereich enorm zugenommen. Knapp 7.900 Biogasanlagen wird es Ende 2013 in Deutschland geben [4]. Man schätzt, dass Energiepflanzen und landwirtschaftliche Koppelprodukte im Jahr 2050 einen Anteil von 63 % an der Primärenergie aus Bioenergie bereitstellen können, Energieholz und Bioabfälle zusammen lediglich 37 % [5]. Mit einer Zunahme des Einsatzes von Bioabfällen ist wegen des Abfallvermeidungsgebots kaum zu rechnen. Möglichkeiten, die Holznutzung zu steigern, sind angesichts technischer Weiterentwicklungen derzeit kaum abzuschätzen [6]. Die Mehrzahl der landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird wegen der wesentlich höheren Biogausausbeuten mit nachwachsenden Rohstoffen bzw. Energiepflanzen betrieben, häufig in Co-Vergärung mit Wirtschaftsdüngern. Die im Gärrest enthaltenen mineralischen Nährstoffe werden über die Düngung dem landwirtschaftlichen Produktionskreislauf zurückgeführt. Als Energiequelle ist Gülle aber wenig attraktiv und ist auch nicht überall verfügbar. Ein weiterer Transport ist nicht sinnvoll. Die Förderung des Einsatzes von energiereichen Substraten, die unter den „Maisdeckel“ fallen, wurde mit dem EEG 2012 begrenzt. Zu Alternativen wird daher intensiv geforscht [6]. Grassilage, landwirtschaftliche Reststoffe und Landschaftspflegegut werden auch angesichts der zurückgehenden Nahrungs- und Futtermittelproduktion und freiwerdender Ressourcen als Biogassubstrate zunehmend interessant. Bei hohen Lignocellulose- oder N-Gehalten können sie aber für die Prozesstechnik oder die Mikroorganismen, die den anaeroben Gärprozess durchführen (Abb. 1), problematisch werden [7] [8]. Auch solche Substrate müssen für einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen Betrieb effizient und wertschöpfend z.B. zu Energieträgern wie Methan umgesetzt werden.

Eine effiziente Prozesssteuerung erfordert es, den Prozess und dessen Flaschenhalse zu kennen und die Reaktionsmechanismen zu verstehen. Noch vor zehn Jahren war die Biogasanlage eine nach dem „Trial-and-error“-Prinzip betriebene „Black-box“, was zuweilen auch in einer Prozessstörung oder Havarie endete [9] [10]. Neue molekularbiologische Techniken haben enorm zum mittlerweile deutlich verbesserten Grundlagenwissen und Prozessverständnis beigetragen (Abb 1). Im Folgenden werden aus dem angesprochenen Bereich einige neue Erkenntnisse und Entwicklungen für die Praxis vorgestellt, z.B. molekularbiologische Frühwarnsysteme zur Optimierung der mikrobiologischen Prozesssteuerung und damit der Effizienz und Ökonomie.

## 2 Material und Methoden

Die Grundlage einer effizienten Prozesssteuerung ist eine auf soliden quantitativen Kennwerten beruhende Prozessdiagnose. Spezifische Maßnahmen zur Prozessoptimierung sollten anhand des Vergleichs gemessener mit Referenzdaten („Benchmarks“) eingeleitet werden. Bei prozessbiologischen Defiziten sind die „Arbeitsbedingungen“ für die Mikroorganismen zu verbessern. Defizite im verfahrenstechnischen Bereich [11] sind nicht Gegenstand dieses Artikels.

### 2.1 Konventionelle Analytik

Zur Beurteilung des aktuellen prozessbiologischen Zustands des Gärgemischs von Biogasanlagen werden in der Praxis im günstigen Fall gasanalytische (Gasmenge, Gasqualität) und verschiedene nasschemische Parameter (z.B. pH-Wert, Trockenmasse (TM), organische Trockenmasse (oTM), das Spektrum kurzkettiger organischer Säuren (FOS, C2-

C5 gemessen und mit entsprechenden Erfahrungswerten abgeglichen. Zur Früherkennung einer beginnenden Prozessversäuerung dient der FOS/TAC-Wert (Verhältnis der FOS zur Karbonatpufferkapazität, TAC) [12]. Bei einem stickstoffreichen Substratmix wird Ammoniumstickstoff ( $\text{NH}_4^+$ -N) als Indikator für eine drohende Prozesshemmung durch Ammoniak bestimmt. Weiterhin ist die Messung der Gehalte bestimmter, für die Aktivität der Schlüsselorganismen wichtiger Spurenelemente (v.a. Co, Ni, Se, Na) in bestimmten Gär gemischen und Substraten zur Einschätzung des Versorgungsstatus wichtig [13]. Beispielsweise hat Maissilage typischerweise sehr geringe Co-, Na- und Se-Gehalte, was eine Unterversorgung der methanogenen Archaeen und syntrophen fettsäureabbauenden Bakterien (Abb. 1) mit diesen für ihre Aktivität wichtigen Elementen verursachen und damit eine Prozessversäuerung auslösen kann [13].

Allerdings zeigen Gasanalytik und Prozesschemie erst spät eine Prozessstörung an, und der etablierte Versäuerungs-Frühindikator FOS/TAC-Verhältnis hat Schwächen: Der TAC-Wert wird beispielsweise bei höheren Ammoniumgehalten über- und das FOS/TAC-Verhältnis entsprechend unterschätzt. Das kann zu einer Fehlbewertung des Prozesszustands führen. Die Parameter FOS und FOS/TAC zeigen auch nur die Auswirkungen einer veränderten mikrobiellen Aktivität an. Frühwarnsysteme vor Prozessstörungen messen am besten direkt die Aktivität der Schlüsselakteure in den einzelnen Teilprozessen (Abb. 1). Hierfür wurden die im Folgenden dargestellten molekularbiologischen Methoden entwickelt.

## 2.2 Molekularbiologische Analytik

Methoden mit selektiver Kultivierung von Mikroorganismen sind im anaeroben Bereich zu aufwändig und langwierig. Viele Mikroorganismen sind auch noch nicht kultivierbar. Der Begriff „great plate count anomaly“ wurde geprägt, weil sich unter artifiziellen Kulturbedingungen andere Populationen entwickeln und vermehren als die im betrachteten Prozess wichtigen bzw. für diesen verantwortlichen. Die molekularbiologische Analytik von DNA und verschiedene RNA-Arten vermeidet diese Verfälschungen [14]. Ähnlich wie bei der Bestimmung von Zwischenprodukten wie der FOS (s. 2.1) wird in das Gleich- oder auch Ungleichgewicht zwischen Bildung und Abbau hinein gemessen. DNA ist relativ stabil, während der von der DNA umgeschriebene, für Enzyme codierende Pool von Messenger-RNA (mRNA, Boten-RNA) sehr schnell (Minuten bis Stunden) auf Aktivitätsänderungen reagiert.

Die hier vorgestellte Analytik auf DNA- und mRNA-Ebene zielt auf Nukleinsäuren bestimmter physiologischer Gruppen von Mikroorganismen (Gilden), die mit ihrer besonderen genetischen Ausstattung Schlüsselenzyme für bestimmte Prozessschritte bilden können. Beispielsweise werden methanogene Archaeen (Abb. 1) über die Untereinheit *mcrA/mrtA* der Methyl-Coenzym M-Reduktase eindeutig nachgewiesen, andere Organismen besitzen kein entsprechendes Enzymsystem für nennenswerte Methanbildung. Für den spezifischen Nachweis der Zielorganismen oder –gilden mit PCR (Polymerase-Kettenreaktion) –basierten Methoden werden sog. Primer bioinformatisch maßgeschneidert, kurzkettige Nukleinsäurestücke, die spezifisch an zwei Zielregionen der Zielorganismen binden. Dies gewährleistet, dass nur von diesen der DNA-Bereich zwischen den Primern vervielfältigt wird. Die PCR lässt sich mit DNA- oder RNA-Extrakten aus der Probe durchführen, wobei die RNA nach Verdau der DNA in der Probe erst durch Reverse Transkription (RT) in cDNA (copy-DNA) umgeschrieben wird. Die Methoden sind sehr zuverlässig und leistungsfähig, wie Wiederfindungsraten von > 90 % (DNA) bzw. ca. 70

% (RNA) belegen und erlauben eine Quantifizierung der betrachteten Gruppe oder Gilde mit der quantitativen Real-Time PCR (qPCR) bzw. der RT-qPCR [13], [15].

Die amplifizierten DNA- bzw. cDNA-Sequenzen zwischen den Primern sind entsprechend der Populationszusammensetzung in der untersuchten Probe verschieden. Über die Sequenzierung der z.B. durch Klonierung vereinzelter Sequenzen oder mittels „Emulsions-Pyrosequenzierung“ lässt sich die Populationszusammensetzung bestimmen. Letztere Technik ermöglicht neuerdings eine Populationsanalyse auch ohne Einschaltung eines PCR-Schritts bei genügend und ausreichend reiner (c)DNA im Extrakt [16]. Die phylogenetische Zuordnung der Sequenzen, d.h. die Einordnung in die definierte Taxonomie, erfolgt über Ähnlichkeitsvergleiche mit Einträgen in einschlägigen Datenbanken. Tiefergehende methodische technische Details finden sich in der Fachliteratur. Der Bereich Proteomik ist nicht Gegenstand dieses Artikels.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden Beispiele der neuen molekularbiologischen Analysesysteme und ihres Einsatzes vorgestellt. Für tiefergehende Details wird auf die Fachliteratur verwiesen.

#### 3.1 Populationsuntersuchungen und Bioindikatoren

Bei den Populationsuntersuchungen auf DNA- und mRNA-Ebene wird zunächst das „Standardprofil“ der Biozönose aufgenommen, um Unterschiede zwischen verschiedenen Behandlungen hinsichtlich der Präsenz (DNA-Ebene) oder auch der Aktivität (mRNA-Ebene) der untersuchten Mikroorganismen feststellen zu können. Daraus lassen sich möglicherweise Bioindikatoren ableiten. Analog dem System in der Vegetationskunde wird das Vorhandensein oder Fehlen von prozesstypischen Mikroorganismen oder Gilden bzw. ihren Aktivitäten bewertet.

Abb. 2 zeigt ein Beispiel für eine praktisch ausschließlich mit Grassilage betriebene Praxis-Biogasanlage (PB11). Während in Probe 0124 (Abb. 2A) die Säure- und  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalte noch unauffällig waren, lagen sie 3 Monate später (Probe 0231, Abb. 2B) bereits um das knapp 3-fache höher ( $1,3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  Acetat,  $0,6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_3\text{-N}$ ), und der bereits auffällig hohe TM-Gehalt stieg auf  $17 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  an. Das FOS/TAC-Verhältnis blieb mit dem um 0,3 Einheiten gestiegenen pH-Wert (auf pH 8,2) noch unauffällig. Mit diesen ersten Versäuerungs-Anzeichen war auch das Populationsprofil wohl infolge Ammoniak-Toxizität verändert (Abb. 2).

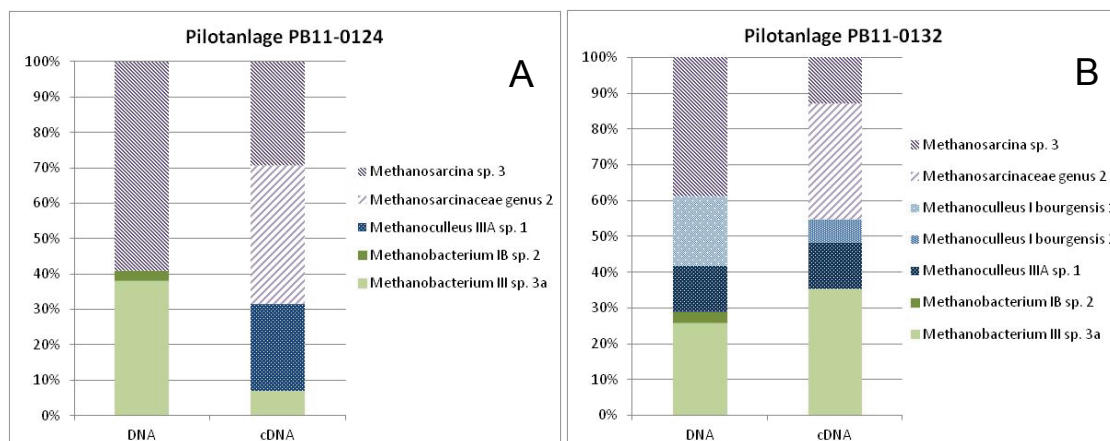


Abb.2: Populationsanalysen (DNA- und mRNA-/cDNA-Ebene) einer stark graslastig betriebenen Praxis-Biogasanlage auf methanogene Archaeen

Auf DNA-Ebene (wer ist da?) nahmen  $H_2/CO_2$ -verwertende (hydrogenotrophe; vgl. Abb.1) methanogene Archaeen, insbesondere die als eher säureresistent beschriebenen *Methanoculleus*-Arten [13] zu. Dies ging auf Kosten von Methanosarcinen, die neben der  $H_2/CO_2$ -Verwertung auch Essigsäure spalten können (acetoklastische Methanogenese; vgl. Abb. 1) und gegen  $NH_3$  vergleichsweise resistent sind [17]. Auf mRNA (bzw. cDNA) –Ebene (wer ist aktiv?) war ein bisher noch nicht bekannter Vertreter der Familie *Methanosarcinaceae* (genus 2) mit offenbar sehr hoher spezifischer Aktivität dominant, und das Verhältnis von obligat hydrogenotrophen Methanogenen (*Methanobacterium*, *Methanoculles*) zu Methanosarcinen stieg auch hier an. Zwei Monate später berichtete der Betreiber eine Betriebsstörung. In noch stärker  $NH_3$ - und säurebelasteten, mit Grassilage betriebenen Laborfermentern (nicht dargestellt;  $2,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  Acetat,  $0,75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$   $NH_3$ -N) waren Methanosarcinen und *Methanoculleus*-Arten nur noch auf DNA-Ebene nachweisbar, aktiv (mRNA-Ebene) waren lediglich 2 *Methanobacterium*-Arten, die gleichen, die auch in Anlage PB11 (Abb. 2) gefunden wurden.

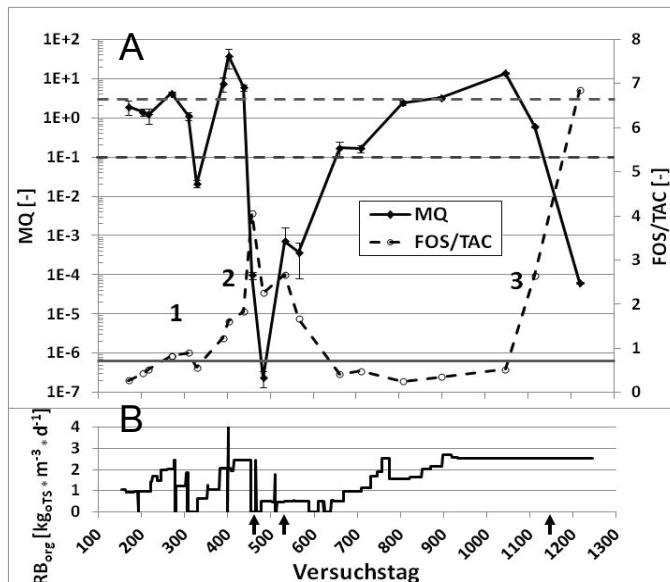
Für den gegebenen mesophilen Hochlastbetrieb mit Grassilage scheint also ein Profil mit Dominanz von Methanosarcinen typisch. Ein verstärktes Auftreten von hydrogenotrophen Methanogenen kündigt offenbar eine Prozessstörung durch Ammoniak-Überbelastung an.

### 3.2 Aktivitätsparameter und Frühwarnsysteme

Der „Metabolische Quotient“ (MQ) wurde als Frühwarnsystem vor einer Prozessstörung v.a. in Form einer Versäuerung entwickelt, wie sie z.B. als Folge eines Spurenelementmangels primär für die methanogenen Archaeen auftreten kann [13] [15]. Zur Früherkennung einer Versäuerung wird in der Praxis häufig der FOS/TAC-Wert (s. 2.1) gemessen. Er zeigt i.d.R. mit einem Anstieg in den Bereich um 0,5 eine Störung und um 0,7 eine deutliche Prozessversäuerung an.

Abb. 3 zeigt den Verlauf des FOS/TAC-Verhältnisses und des MQ (A) sowie der organischen Raumbelastung (B) bei einer mesophilen Vergärung von Maissilage im Durchflussbetrieb. Bei den 3 Versäuerungsereignissen mit FOS/TAC-Werten  $> 0,7$  (Versuchstage, VT ca. d 300, d 450 und d 1100) reagierte der MQ mit einem Anstieg über einen Wert von 3 früher (VT 1030) oder zumindest zeitgleich mit dem Anstieg des FOS/TAC über die Marke von 0,7. Dieses Verhalten wurde in einer Reihe ähnlicher Langzeitstudien mit Durchflussbetrieb bestätigt. Ein MQ-Anstieg über etwa 3 zeigt Stressmetabolismus der methanogenen Archaeen an, während diese bei einem MQ-Abfall unter etwa 0,1 kaum ak-

tiv oder inaktiviert sind. Wir sehen damit den MQ als einen geeigneten und praxisrelevanten Parameter an, frühzeitig eine Prozessversäuerung anzuzeigen, die auf eine Hemmung der methanogenen und/oder säureabbauenden syntrophen Gilden zurückgeht. Die Eignung des MQ wird derzeit auch für andere Vergärungssysteme beispielsweise mit graslastiger Substratmischung geprüft.



Die Versäuerungsereignisse sind durch Zahlen, der Zusatz von Spurenelementen mit Pfeilen angezeigt.

Die gestrichelten horizontalen Linien geben den oberen bzw. den unteren Bereich des MQ für stabilen Fermenterbetrieb ohne Anzeichen für Stress oder Unterforderung bzw. Inaktivierung der methanogenen Archaeen an.

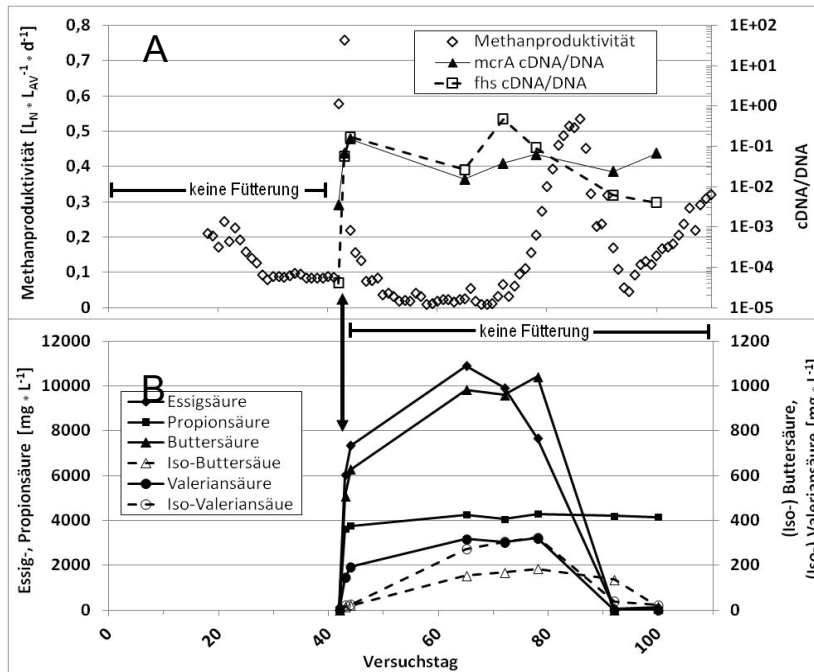
Die durchgezogene horizontale Linie markiert die Schwelle zur Prozessversäuerung (FOS/TAC > 0,7, siehe im Text).

Abb.3: Verlauf des FOS/TAC-Wertes und des MQ (A) sowie der organischen Raumbelastung (B) bei einer mesophilen Vergärung von Maissilage im Durchflussbetrieb

Der MQ ist mit relativ geringem Aufwand im Labor bestimmbar. Allerdings erfordert er eine verlässliche Erfassung der Gasbildung und Gasanalyse, die nicht bei allen Biogasanlagen vorliegt. Daher wurde der davon unabhängige Aktivitätsparameter cDNA/DNA-Verhältnis entwickelt, über den der Aktivitätsstatus prozessrelevanter Gilden auf rein molekularbiologischer Basis erfasst werden kann. Das cDNA/DNA-Verhältnis zeigt, wie intensiv mRNA für Schlüsselenzyme der untersuchten Abbau- oder Syntheseschritte von der entsprechenden Gilde gebildet wird. Damit lässt sich die spezifische Aktivität der betrachteten Gilde bewerten. Im Beispiel (Abb. 4) wurde ein ausgehungerter, mesophil mit Maissilage betriebener 3,5 m<sup>3</sup> Pilotfermenter einmalig mit hoher organischer Raumbelastung Schock-gefüttert. Nach Abbau der akkumulierten Säuren (Abb. 4B) wurde die Fütterung langsam wieder aufgenommen.

Während sich die Konzentration (DNA-Ebene, nicht dargestellt) der methanogenen Archaeen und acidogenen/acetogenen/syntrophen fettsäureoxidierenden Bakterien (AASF) im Versuchsverlauf kaum änderte, stieg ihre Aktivität (Abb. 4A) mit der Stoßfütterung rasch und intensiv an (offenbar die Säurebildner unter den AASF) und nahm dann wohl infolge der Versäuerung (Abb. 4B) vorübergehend wieder ab. Mit der etwa am Versuchstag 70 aktivierten *fhs*-Aktivität (Abb. 4A, offenbar syntrophe Fettsäureoxidierer) begann der Abbau der akkumulierten Säuren. In syntropher Wechselwirkung förderte wiederum die Bildung der Abbauprodukte (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Acetat u.a.) zwischen Versuchstag 70 und 80 die Aktivität methanogener Archaeen (*mcrA* und Methanproduktivität in Abb. 4A). Diese Ergebnisse entsprechen den Erwartungen auch hinsichtlich der Reaktionsabfolge der Teilschritte der Methanisierung organischer Substanz (Abb. 1). Nach derzeitigem Erkenntnisstand bewerten wir den Aktivitätsstatus der Gilde methanogener Archaeen und der AASF-Bakterien bei einem cDNA/DNA-Verhältnis zwischen 0,05 und 0,1 bzw. 0,01 und 0,05 als

normal. Anhand dieser „Benchmarks“ lässt sich einschätzen, ob der betrachtete Teilprozess effizient, angespannt oder unterfordert verläuft. Dieser analytische Ansatz wird ebenfalls anhand anderer Gärssysteme evaluiert, um weitere Einsatzmöglichkeiten zu prüfen und eventuelle Limitationen festzustellen.



Der senkrechte Doppelpfeil zeigt den Zeitpunkt der Schockbelastung mit Maissilage (35 kg oTS  $\cdot$   $m_{AV}^{-3}$  an einem Tag);

*mcrA* cDNA/DNA gibt die spezifische Aktivität der methanogenen Archaeen und *fhs* cDNA/DNA die spezifische Aktivität der Bakterien des Intermediärmetabolismus an (i.e. Acidogene, Acetogene, syntrophe Fettsäure-Oxidierer, AASF; vgl. Abb. 1).

Innerhalb der AASF lassen sich Säurebildner aktuell noch nicht getrennt von syntroph Säure abbauenden Bakterien erfassen.

Abb. 4: Effekte einer Schock-Raubelastung mit Maissilage; A: Spezifische Aktivität von methanogenen Archaeen (*mcrA*) und säurebildenden/-abbauenden Bakterien (*fhs*); B: Konzentration kurzkettiger organischer Fettsäuren

## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit den neuen Errungenschaften molekularbiologischer Analytik wird aktuell der Kenntnisstand zur Funktion des Biogasprozesses entscheidend erweitert. Maßgeschneiderte (RT)qPCR-Systeme erlauben es, die Akteure wichtiger Teilprozesse und ihre Aktivität quantitativ zu verfolgen. Hervorzuheben sind hier die cDNA/DNA-Verhältnisse und die Entwicklung des MQ als Frühwarnsystem vor einer Prozessversäuerung. Mit neuen Sequenziertechniken wird die Gemeinschaft der Mikroorganismen im Prozess erfasst. Aus vergleichenden Profilen werden für typische und atypische Prozesszustände Bioindikatoren abgeleitet, deren Messung eine Einschätzung der „Gesundheit“ betrachteter Vergärungssysteme gestattet.

Während die Systeme für methanogene Archaeen schon relativ weit entwickelt sind, besteht für die Teilprozesse Hydrolyse/Acidogenese und Acetogenese mit den syntrophen Säureabbauersritten teilweise noch deutlicher Entwicklungsbedarf. Insbesondere die syntrophen Teilprozesse des „Intermediärmetabolismus“ und ihre Akteure sind noch wenig erforscht. Der Einsatz der neuen Techniken wird aber auch hier sehr bald Licht ins Dunkel bringen.



## 5 Literaturverzeichnis

- [1] BMU (2010): Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie. [http://www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare\\_energien/international/eu-richtlinie/nationaler\\_aktionsplan/doc/46202.php](http://www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/international/eu-richtlinie/nationaler_aktionsplan/doc/46202.php)
- [2] Agentur für Erneuerbare Energien (2009): <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/startseite/detailansicht/article/19/ausbau-der-erneuerbaren-energien-bis-2020.html>
- [3] FNR (2012): <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/biogasanlagen-zur-biomethan-produktion.html>
- [4] Fachverband Biogas e.V. (2012): Branchenzahlen 2011 und Branchenentwicklung 2012/2013. [http://biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen/\\$file/12-06-01\\_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf](http://biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/12-06-01_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf)
- [5] FNR (2011): [http://www.nachwachsenderohstoffe.de/presseservice/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx\\_ttnews%5Byear%5D=2011&tx\\_ttnews%5Bmonth%5D=04&tx\\_ttnews%5Bday%5D=28&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=3570&cHash=d4ae75d58ab3b0a9d367a3c6d2ff868e](http://www.nachwachsenderohstoffe.de/presseservice/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2011&tx_ttnews%5Bmonth%5D=04&tx_ttnews%5Bday%5D=28&tx_ttnews%5Btt_news%5D=3570&cHash=d4ae75d58ab3b0a9d367a3c6d2ff868e)
- [6] Schäfer, R. (2012): Möglichkeiten und Potenziale von erneuerbaren Energien in Bayern. LfL-Schriftenreihe 12, 9-21. ISSN 1611-4159
- [7] Marín Pérez, C., Dandikas, V., Weber, A. und Lebuhn, M. (2013): Mikrobiologische Optimierung der Hydrolyse - Bereich Verfahrenstechnik. Abschlussbericht des BMBF-Verbundvorhabens FABES, TP 2, 36-92
- [8] Andrade, D., Marín-Pérez, C., Heuwinkel, H., Lebuhn, M. und Gronauer, A. (2009): Biogasgewinnung aus Grassilage: Untersuchungen zur Prozessstabilität. Kongressband Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, 2.12. – 4.12.2009, Erding, LfL-Schriftenreihe 16/3, ISSN 1611-4159, 529-538
- [9] Lebuhn, M., Liu, F., Heuwinkel, H., and Gronauer, A. (2008): Biogas production from mono-digestion of maize silage – long-term process stability and requirements. *Water Sci. Tech.* 58(8), 1645-1651
- [10] Effenberger, M., Andrade, D., Bachmaier, H., Lebuhn, M., Marín-Peréz, C. und Spatz, A. (2011): Verfahrenstechnik der Grasvergärung: Technik, Gärprozess, Klimabilanz. Kongressband der 20. Jahrestagung des Fachverbands Biogas e.V., Nürnberg, 29-37
- [11] Effenberger, M. und Lebuhn, M. (2011): Repowering von Biogasanlagen zur Steigerung der Prozesseffizienz. In: FNR / KTBL (Hrsg.): *Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven*, 20./21.9.2011, Göttingen, ISBN 978-3-941583-56-6, S. 268-280
- [12] Voss, E., Weichgrebe, D. und Rosenwinkel, K.H. (2009): FOS/TAC: Herleitung, Methodik, Anwendung und Aussagekraft. In: *Proceedings of the International Scientific Conference Biogas Science 2009*, Erding, Germany, vol. 3, 675-682
- [13] Munk, B., Bauer, C., Gronauer, A. and Lebuhn, M. (2010): Population dynamics of methanogens during acidification of biogas fermenters fed with maize silage. *Eng. Life Sci.*, 10/6, 496-508, DOI: 10.1002/elsc.201000056
- [14] Hugenholtz, P. (2002): Exploring prokaryotic diversity in the genomic era. *Genome Biol.* 3(2), reviews0003.1-0003.8

- [15] Munk, B., Bauer, C., Gronauer, A. and Leubhn, M. (2012): A Metabolic Quotient for methanogenic *Archaea*. *Water Sci. Tech.* 66/11, 2311-2317, doi: 10.2166/wst.2012.436
- [16] Zakrzewski, M., Goesmann, A., Jaenicke, S., Jünemann, S. Eikmeyer, F., Szczepanowski, R., Al-Soud, A.A., Sørensen, S., Pühler, A. and Schlüter, A. (2011): Profiling of the metabolically active community from a production-scale biogas plant by means of high-throughput metatranscriptome sequencing. *J. Biotech.* 158 248–258
- [17] De Vrieze, J., Hennebel, T., Boon, N. and Verstraete, W. (2012): *Methanosarcina*: The rediscovered methanogen for heavy duty biomethanation. *Biores. Tech.* 112, 1-9

---

# Verfahrenstechnische Optimierung von Biogasanlagen

Mathias Effenberger, Andreas Weber

LfL, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising

Mathias.Effenberger@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

In den Jahren seit Gründung der LfL hat sich der Bestand an Biogasanlagen in Deutschland mehr als vervierfacht. In dieser Zeit wurden erhebliche Fortschritte im Stand der Technik landwirtschaftlicher Biogasanlagen erzielt. Das sich wandelnde Energieversorgungssystem bietet der Biogastechnologie die Chance, ihre Stärken wie die vielseitige Verwertbarkeit und die Speicherfähigkeit von Biogas auszuspielen. Allerdings werden hierdurch auch höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Regelbarkeit von „Biogaskraftwerken“ gestellt. Das Institut für Landtechnik und Tierhaltung arbeitet mit einem umfangreichen und vielseitigen Inventar an Versuchseinrichtungen und methodischen Werkzeugen daran, die Bereitstellung und Nutzung von Biogas zuverlässiger, effizienter und umweltschonender zu gestalten. Im folgenden Beitrag werden ausgewählte Projekte zu den Themenbereichen Verfahrenstechnik, Prozessüberwachung / -regelung sowie web-basierte Optimierung des Betriebs bestehender Biogasanlagen vorgestellt.

## Summary

Since 2003, the founding year of the Bavarian State Research Center for Agriculture (LfL), the number of biogas plants more than quadrupled in Germany. In the same time, the state of the art of agricultural biogas technology was significantly improved. The ongoing transition of the energy system presents an excellent opportunity for biogas to use its strengths of being versatile to utilize and easy to store. At the same time, “biogas power stations” will have to meet the requirements of high reliability and controllability. Using a large and multi-functional inventory of experimental equipment and methodological tools, the Institute for Agricultural Engineering and Animal Husbandry is working towards more reliable, efficient and environmentally sound ways of biogas production and utilization. In this paper, selected projects dealing with aspects of process engineering, process control and web-based optimization of biogas plants are presented.

## 1 Einleitung

An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft konnte im Bereich der Biogastechnologie auf eine lange Tradition aufgebaut werden. Bereits in den 1970er Jahren befassten sich Dr. Heinz Schulz und Mitarbeiter mit der Energiegewinnung aus Biogas [1]. Mit Gründung der LfL wurde dann am damaligen Institut für Landtechnik, Bauwesen und

Umwelttechnik (heute: Institut für Landtechnik und Tierhaltung) eine eigene Arbeitsgruppe „Biogastechnologie und Reststoffmanagement“ eingerichtet. Gronauer et al. [2] konstatierten in 2001 eine unsystematische Entwicklung der Konzeption landwirtschaftlicher Biogasanlagen in den 1990er Jahren und nannten u.a. die folgenden Ziele als wesentlich für die angewandte Forschung zur Biogastechnologie: die Bewertung der Methanausbeute aus unterschiedlicher Biomasse, die Entwicklung neuer Technologien zur Gasverwertung, die Ermittlung belastbarer Daten für die Stoffstrombilanzierung sowie die Optimierung des Standes der Technik und deren Umsetzung in die Praxis.

Im Rahmen von Monitoring-Projekten auf Bundes- und Länderebene wurde seither verfolgt, wie sich der technische Stand und der Betriebserfolg von Biogasanlagen entwickelte [3],[4],[5],[6]. Auf dieser Grundlage konnten einzelbetriebliche Stoffstrombilanzen erstellt werden. Insbesondere der Kenntnisstand zur Treibhausgas- und Energiebilanz der energetischen Nutzung von Biogas ist mittlerweile sehr gut [7]. Auf Seiten der Biogasverwertung wurden die Motorentchnik und die Technologien zur Abgasreinigung erheblich verbessert. Die Palette der am Markt verfügbaren Aufbereitungsverfahren für Biogas zur Erzeugung von Biomethan wurde deutlich größer. Die Ziele aus 2001 zur Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik der Biogastechnologie wurden also größtenteils erreicht.

Dennoch gibt es nach wie vor genügend Entwicklungspotential sowohl für die Fermentertechnik, als auch für die Technologie der Biogasverwertung. Um das Methanertagspotential der landwirtschaftlichen Einsatzstoffe möglichst weitgehend auszuschöpfen, wird bisher meist mit langen Verweilzeiten in den Gärbehältern gearbeitet. Durch eine zweistufige Verfahrensgestaltung mit Phasentrennung wird versucht, das spezifische Fermentationsvolumen zu verringern und gleichzeitig die Abbauleistung zu verbessern. Verschiedene Aufbereitungsverfahren sollen den Aufschluss Lignocellulose reicher Biomasse intensivieren. Als besonders anspruchsvoll erweist sich die Vergärung von überwiegend Grasbiomasse.

Im Folgenden werden aktuelle Forschungsarbeiten im Arbeitsbereich Umwelttechnik in der Landnutzung am Institut für Landtechnik und Tierhaltung vorgestellt, die sich mit der verfahrenstechnischen Optimierung von Biogasanlagen befassen. Es werden das methodische Vorgehen erläutert und ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

## 2 Material und Methoden

Das Institut für Landtechnik und Tierhaltung verfügt über ein umfangreiches und vielseitiges Inventar an Versuchseinrichtungen und methodischen Werkzeugen, in welchem unterschiedliche Fragestellungen zur Verfahrenstechnik der Biogasproduktion untersucht werden (Abb. 1). Hierbei gibt es eine enge Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Mikro- und Molekularbiologie“ der Abteilung für Qualitäts- und Untersuchungswesen. Ziel der angewandten Forschungsarbeiten ist es, die Zuverlässigkeit, Effizienz, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung und Nutzung von Biogas durch verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen zu verbessern.

Am Institutsstandort in Freising werden Laborfermenter nach dem Batch- und Durchflussverfahren betrieben. Im Batchtest wird ein organisches Substrat unter standardisierten Bedingungen vergoren [8]. Batchtests erlauben Aussagen zur Bewertung der anaeroben biologischen Abbaubarkeit eines Substrats, zur potentiellen Biogas- bzw. Methanausbeute sowie zur Beurteilung der Abbaukinetik. Die Batchanlage des Instituts besteht derzeit aus

19 Inkubatoren (modifizierte Trockenschränke), die jeweils zwölf Glasfermenter mit einem Arbeitsvolumen von 1,3 L enthalten. Jede Probe wird in drei parallelen Ansätzen getestet. Gasertragsmessung, Gasanalyse und Datenaufzeichnung erfolgen vollautomatisch. Für jeden Batchtest wird eine Mischung aus einem Standardinokulum und der entsprechenden Substratvariante angesetzt. Das Inokulum wird aus einem Technikumsfermenter gewonnen. Eine Sonderform des Batchtests stellt der Restgaspotentialtest dar, bei welchem eine Gärrestprobe bei geringerer Temperatur als im Gärbehälter (meist 20 °C) und ohne Zugabe von Inokulum vergoren wird.

Die Mini-Batch-Anlage des Instituts wurde zur Durchführung von Aktivitäts-, Toxizitäts- und Supplementierungstests konzipiert, d.h. mit der Anlage kann die unmittelbare Wirkung der Zugabe einzelner Substrate, toxischer Substanzen oder von Hilfsstoffen auf die Aktivität der Biozönose untersucht werden. In einem Wasserbad, dessen Temperatur in einem weiten Bereich geregelt werden kann, sind 33 Batchflaschen mit einem Volumen von je 250 mL montiert. Ein Schwenkmechanismus mit programmierbarer Steuerung erlaubt eine vollautomatische Durchmischung der Batchfermenter während der Inkubation. Die Biogasproduktion und damit die mikrobielle Aktivität werden mittels Absolutdruck-Transmittern erfasst. Die Gaszusammensetzung wird in regelmäßigen Abständen in einem Gaschromatographen analysiert.

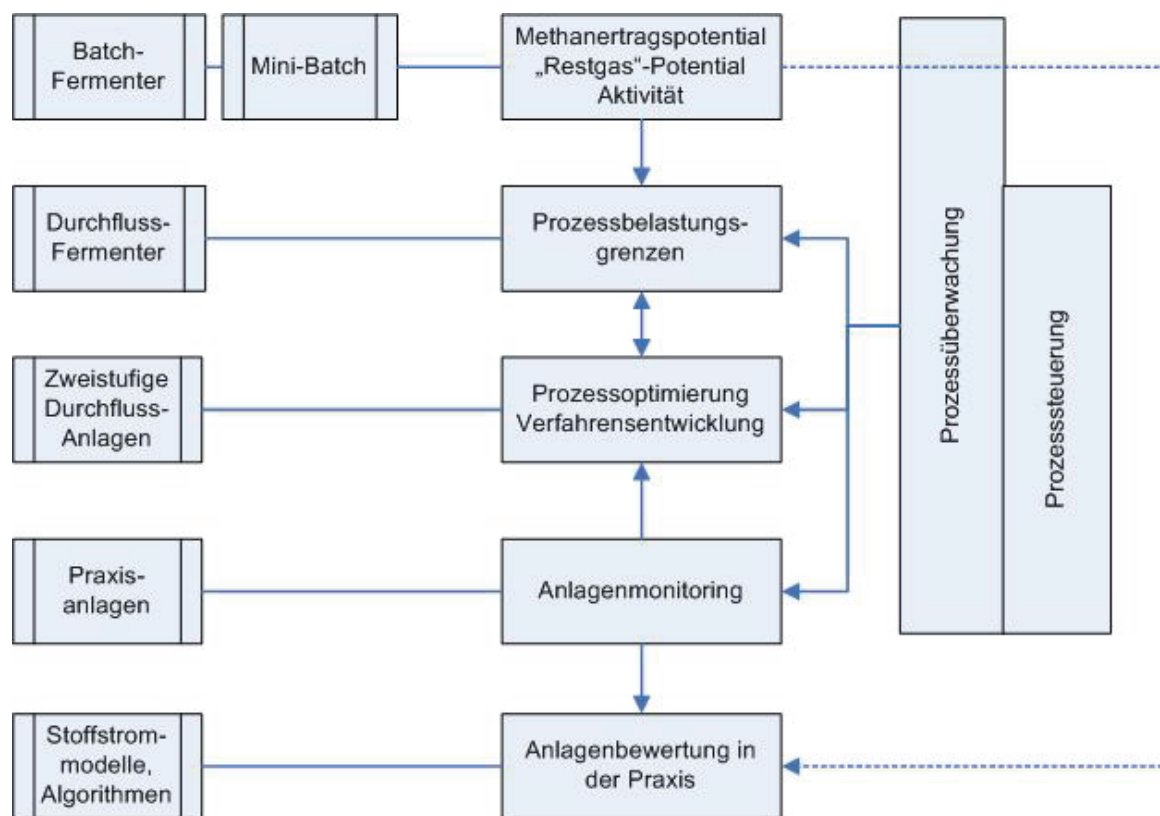


Abb. 1: Fragestellungen und Arbeitsmethoden im Forschungsfeld Biogastechnologie am Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Im Durchflussversuch erfolgt der Gärprozess mit semikontinuierlicher Substratbeschickung in Annäherung an die Verhältnisse in Praxisanlagen. Hierbei können die Belastungsgrenzen des Vergärungsprozesses untersucht oder beispielsweise die Wirkung von Gärhilfsstoffen in Langzeitversuchen getestet werden. Das Institut betreibt ein- und zwei-

stufige Durchflussanlagen. Die einstufigen Anlagen arbeiten mit einem Nutzvolumen von 28 L. Für einen zweistufigen Durchflussversuch können Fermenter verschiedener Bauart (stehend / liegend) und Größe (6 bis 70 L Arbeitsvolumen) kombiniert werden. Die Beschickung der Anlagen erfolgt halbautomatisch; Anlagensteuerung, Gasmengenmessung und Gasanalyse sind vollautomatisch. Des Weiteren verfügt das Institut auf einem landwirtschaftlichen Betrieb über zwei Durchflussfermenter im Technikums-Maßstab (Nettovolumen: 3 m<sup>3</sup>). Aus einem dieser Fermenter wird das Inokulum für die Gärversuche im Labortechnikum bezogen.

Ein liegender Durchflussfermenter (240 l Bruttovolumen) wurde mit einem Messfenster ausgestattet, um dort online spektrale Daten des Gärgemisches zu erfassen. Zum Einsatz kommt ein FT-NIR Spektrometer mit einem Spektralbereich von 12.800 bis 4.000 cm<sup>-1</sup> (entspricht einem Wellenlängenbereich von 800-2.500 nm), das über zwei Sensoren mit Anschluss über Lichtwellenleiter verfügt. Ein Sensor wird in den Versuchsphasen kontinuierlich am Fermenter messen, der zweite Sensor wird im Offline-Modus genutzt, um die Einsatzstoffe und den Gärückstand zu untersuchen. Nachdem das System auf die entsprechenden Prozessindikatoren kalibriert wurde, kann mit dem NIR-Spektrometer prozessbegleitend die Stabilität des Vergärungsprozesses überwacht werden. Regelmäßige zeitaufwändige Probenahmen und Laboranalysen sollen so weitgehend verzichtbar werden.

Bereits seit 2001 betreibt das Institut ein Monitoring auf landwirtschaftlichen Betrieben mit Biogasanlage, um die Brücke zur Praxis zu schlagen: zunächst als Verbundpartner im „Bundes-Messprogramm Biogas“, seit 2005 in eigenen Projekten zur wissenschaftlichen Begleitung der Bayerischen Pilotbetriebe zur Biogasproduktion. Bis dato wurden im Rahmen der letztgenannten Projekte 21 Pilotanlagen über einen Zeitraum von zwei bis vier Jahren intensiv beobachtet und bewertet. Die Anlagen liegen sowohl in Ackerbau-, als auch in Grünland dominierten Gebieten und bilden ein weites Spektrum hinsichtlich Einsatzstoffen und Bauweisen ab. Die installierte elektrische BHKW-Leistung variiert von 80 bis 810 kW. Weitere vier Anlagen werden aktuell neu in das Monitoring aufgenommen.

Damit Betreiber in die Lage versetzt werden, Leistungsfähigkeit, Effizienz und Umweltwirkungen der eigenen Biogasanlage zuverlässig zu bewerten und Schwachstellen zu identifizieren, werden Bewertungsmethoden entwickelt und in Form webbasierter Beratungsanwendungen zur Verfügung gestellt. Die standort- und betriebsspezifischen Einflüsse auf die Ökobilanz von Biogasbetrieben werden mittels Stoffstrommodellierung untersucht.

### **3 Ausgewählte Projekte**

#### **Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung**

Eine wichtige Fragestellung für Bayern ist die alternative Nutzung von Grünland, das nicht mehr für die Viehfütterung benötigt wird. In einer Machbarkeitsstudie untersuchte daher die LfL die technischen und ökonomischen Realisierungsmöglichkeiten der Grünlandnutzung für die Biogasproduktion [9]. Unter den getroffenen Annahmen erwiesen sich die dort betrachteten Modellanlagen zur Grasvergärung ökonomisch gesehen als relativ stabil, sofern sie nach den Rahmenbedingungen des EEG 2009 neben dem Gülle-Bonus auch den Landschaftspflege-Bonus erhielten. Von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit waren die Substratbereitstellungskosten. Was die Verfahrenstechnik be-

trifft, wurde festgestellt, dass erheblicher Forschungsbedarf für eine Verbesserung der Stabilität und Effizienz der Grasvergärung besteht und keine ausreichende Datengrundlage für eine Bewertung der am Markt verfügbaren Verfahrensalternativen existiert.

Es wurde daher ein Bedarf für ein längerfristiges Monitoring von Praxisanlagen mit Gras betonter Vergärung sowie für grundlegende Untersuchungen zur Optimierung des Gärprozesses von Gras konstatiert. Typischer Weise ist die Beschränkung der maximal möglichen Raumbelastung bei der Grasvergärung wirtschaftlich nachteilig. Die Mechanismen der Hemmung des Gärprozesses durch Ammoniak sind noch nicht abschließend geklärt und es gibt Hinweise, dass neben Ammoniak weitere Inhaltsstoffe im Gras eine Hemmwirkung haben könnten. Daraufhin wurden für ein Anlagenmonitoring fünf Biogasanlagen ausgewählt, die als pflanzliche Einsatzstoffe mindestens 60% Grasbiomasse einsetzen. Im Labortechnikum wurden Versuche im Batch- und Durchflussverfahren aufgenommen, um systematisch zu untersuchen, inwiefern durch eine gezielte Einflussnahme auf die Zusammensetzung des Grünlandmaterials bereits vor der Vergärung die Anfälligkeit für eine Destabilisierung des Gärprozesses vermindert werden kann.

In den bisherigen Versuchen zum Einfluss der Substratmischung auf die Methanausbeute und die Prozessstabilität zeigte sich eine Tendenz zu einer geringeren Methanausbeute und Prozessstabilität bei Steigerung des Rotkleeilageanteils in einer Mischung von Deutsch-Weidelgras (DWG) und Rotkleeilage (RK). Möglicher Grund hierfür könnte die Proteinkonzentration in der Mischung sein, die bei der Variante 50% DWG – 50% RK um 14% höher lag als bei der Variante mit 100% DWG. Durch Beimischung von Maissilage und Rindergülle konnte im Durchflussversuch eine höhere Raumbelastung erzielt werden als bei der Variante 50% DWG – 50% RK (Abb. 2). Mit dieser Mischung wurde die Proteinmenge im Vergleich zu den Kontrollen pro Tag um 16% reduziert.

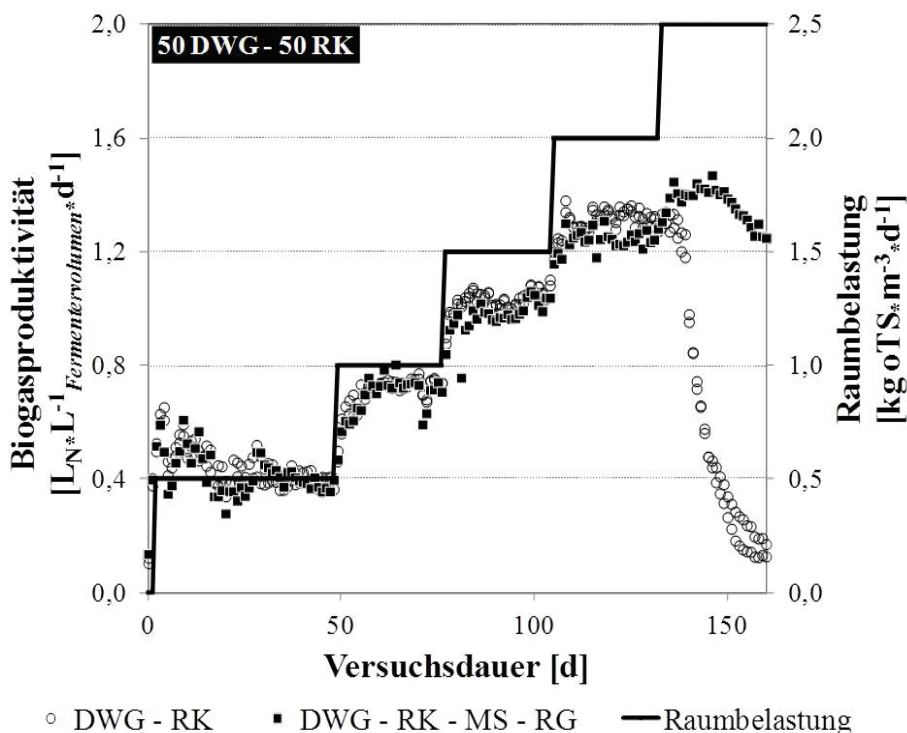


Abb. 2: Biogasproduktivität im Steigerungs-Durchflussversuch bei Einsatz von Deutsch-Weidelgras (DWG) und Rotkleeilage (RK) mit und ohne Zumischung von Maissilage (MS) und Rindergülle (RG)

## Anwendung der Nahinfrarot-Spektrometrie für die Prozesskontrolle

In diesem Forschungsprojekt wird auf Vorarbeiten aufgebaut, in denen Substrat- und Anlagenübergreifende NIRS-Kalibrationsmodelle zur direkten Bestimmung chemischer Prozessindikatoren des mikrobiellen Abbaus im Gärgemisch, wie der Summenparameter „flüchtige Fettsäuren“ (FFS), Carbonatpuffer (TAC-Wert) oder Ammonium-N-Gehalt ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), entwickelt wurden. Kritische Prozesszustände, z. B. nach Substratwechsel oder einer plötzlichen Erhöhung der Raumbelastung, die mit Veränderungen in diesen Prozesskenngrößen einhergehen, können mit NIRS visualisiert und quantifiziert werden (Abb. 3).

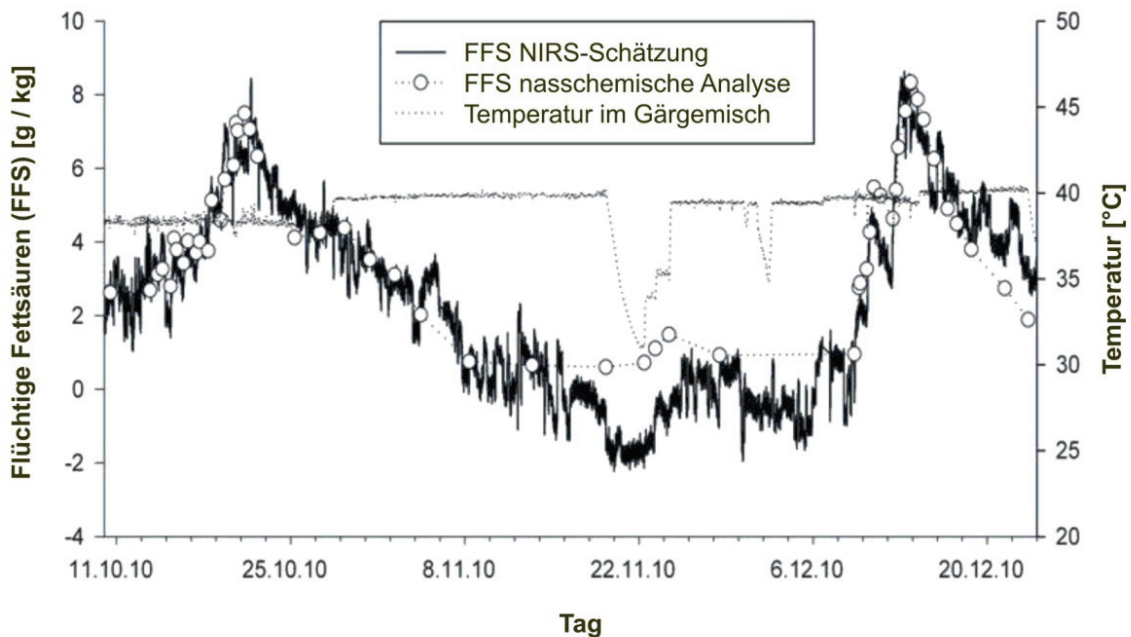


Abb. 3: Validierung des bestehenden NIRS-Kalibrationsmodells im Durchflussversuch (Technikumsfermenter)

## Webbasierte Beratungshilfen

Neben der Forschung ist die Beratung der Praxis ein Aufgabenschwerpunkt der LfL. Daher ist es ein erklärtes Ziel, die Erkenntnisse aus dem Anlagenmonitoring und den Untersuchungen im Labortechnikum für die Landwirte verfügbar zu machen. Hierfür werden nicht nur Vorträge und Publikationen erstellt, sondern auch webbasierte Anwendungen für die Bewertung und Optimierung von Biogasanlagen entwickelt. Diese sollen den Landwirt bzw. Betreiber vor Ort dabei unterstützen, seine Biogasanlage effizienter und umweltschonender zu betreiben.

Aus der Zusammenarbeit mit vier weiteren LfL-Instituten und der Abteilung für Qualitäts- und Untersuchungswesen entstand so der „Betreiberleitfaden Biogas“ ([www.biogasbetreiberleitfaden.de](http://www.biogasbetreiberleitfaden.de)). Auf dieser Webseite wird der Nutzer, der Fragen oder Probleme aus dem Arbeitsalltag der Biogasproduktion entlang der gesamten Prozesskette hat, einfach und schnell zu Lösungsansätzen und hilfreichen Zusatzinformationen geführt.

Derzeit wird in Zusammenarbeit mit den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der sogenannte „Biogas Doc“ in der Praxis getestet. Der Biogas Doc ist eine Web-



Anwendung, die auf Basis von Angaben des Betreibers wichtige Kennzahlen der Biogasanlage berechnet und den Nutzer bei deren Interpretation unterstützt. Sind die entsprechenden Messdaten in Gänze verfügbar, kann auch eine sogenannte Effizienzbewertung der Anlage durchgeführt werden. Hierbei wird die Effizienz der Produktion und Verwertung des Biogases am Stand der Technik gemessen und die Notwendigkeit bzw. Möglichkeit von Verbesserungen dargestellt. Der Biogas Doc soll dem Betreiber ermöglichen, ein besseres Verständnis für seine Anlage zu entwickeln. Bei Bedarf ist er damit auch wesentlich besser für eine Beratung durch einen Experten vorbereitet.

## **4      **Ausblick****

Auf Seiten der Biogaserzeugung besteht noch ein erhebliches Potential für Steigerungen der Produktivität, der Effizienz und der Prozessstabilität durch verfahrenstechnische Innovationen in Verbindung mit einer zuverlässigen Prozessüberwachung und –regelung. Aber auch im Anlagenbestand können durch organisatorische Maßnahmen und eine zielgerichtete Fortbildung der Betreiber erhebliche Verbesserungen der Prozesseffizienz erreicht werden.

Im Vergleich zu anderen Erneuerbaren Energieträgern bleibt das nachhaltig nutzbare Potential von Biogas (und der Bioenergie i.A.) zwar limitiert. Biogas ist jedoch vielseitig und – im Gegensatz zu den fluktuierenden EE – auch bedarfsabhängig verwertbar. Schon heute kann der lastabhängige Betrieb von Biogas-BHKW durch Zwischenspeicherung des Biogases in der Anlage oder die Einspeisung von Biomethan in das Gasnetz zu einer Verringerung der Residuallast (Differenz zwischen Stromerzeugung aus EE und Stromnachfrage) beitragen und damit den Einsatz fossiler Brennstoffe in sogenannten Spitzenlastkraftwerken verringern. Eine optimale Integration von Biogas in das sich wandelnde Energieversorgungssystem ist schon heute weniger eine Frage der technischen Machbarkeit, als vielmehr der geeigneten ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Optimierte Biogasanlagen werden noch besser als der aktuelle Stand der Technik in der Lage sein, Dienstleistungen für den Energiemarkt zu erbringen.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Estler, M., Schurig, M. (2001): Rückblick auf 40 Jahre Forschung, Entwicklung und Beratung an der Landtechnik Weihenstephan (1955-1995). In: Technische Entwicklungen für eine nachhaltige Landwirtschaft in Bayern – 75 Jahre Bayerische Landesanstalt für Landtechnik. Landtechnik-Schrift Nr. 12/2001, 71-92
- [2] Gronauer, A., Rieß, G., Maier, B., Rathmer, B., Schattner, S. (2001): Perspektiven der landtechnischen Entwicklung im Bereich der Emissionen und Umweltwirkung. In: Technische Entwicklungen für eine nachhaltige Landwirtschaft in Bayern – 75 Jahre Bayerische Landesanstalt für Landtechnik. Landtechnik-Schrift Nr. 12/2001, 169-195
- [3] FNR (2009): Biogas-Messprogramm II - 61 Biogasanlagen im Vergleich. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, ISBN 978-3-9803927-8-5
- [4] Effenberger, M., Bachmaier, H., Kränzel, E., Lehner, A., Gronauer, A. (2010): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern. Herausgeber: LfL, Schriftenreihe Nr. 1/2010, Freising, ISSN 1611-4159
- [5] Bachmaier, H., Ebertseder, F., Effenberger, M., Kissel, R., Rivera Gracia, E., Gronauer, A. (2011): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern – Fortsetzung 2008-2010. Herausgeber: LfL, Schriftenreihe Nr. 5/2011, Freising, ISSN 1611-4159
- [6] Ebertseder, F., Kissel, R., Lehner, A., Rivera Gracia, E., Bachmaier, H., Effenberger, M. (2012): Monitoring und Dokumentation von Praxis-Biogasanlagen. Herausgeber: LfL, Schriftenreihe Nr. 8/2012, Freising, ISSN 1611-4159
- [7] Bachmaier, H. (2012): Treibhausgasemissionen und fossiler Energieverbrauch landwirtschaftlicher Biogasanlagen – Eine Bewertung auf Basis von Messdaten mit Evaluierung der Ergebnisunsicherheit mittels Monte-Carlo-Simulation. Dissertation, Department für Nachhaltige Agrarsysteme an der Universität für Bodenkultur Wien, November 2012
- [8] VDI (2006): Richtlinie VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Herausgeber: VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt
- [9] LfL (2011): Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung – Machbarkeitsstudie. Herausgeber: LfL, Freising, Januar 2011

## Biogasgärreste effizient und nachhaltig einsetzen

Fabian Lichti<sup>(1)</sup>, Matthias Wendland<sup>(1)</sup>, Urs Schmidhalter<sup>(2)</sup>, Konrad Offenberger<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz,  
Lange Point 12, 85354 Freising

<sup>(2)</sup>Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Wissenschaftszentrum  
Weihenstephan, Emil-Ramann-Straße 2, 85350 Freising  
Fabian.Lichti@LfL.bayern.de

### Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Stickstoffwirkung von Biogasgärresten (BGR) wurden an vier Standorten in Bayern ortsfeste sowie ortswechselnde Versuche angelegt. Die Biogasgärreste erreichten in einer ortsfesten, zweijährigen Biogasfruchtfolge bestehend aus Silomais, Wintertriticale GPS und Weidelgras ein Mineraldüngeräquivalent des applizierten  $\text{NH}_4\text{-N}$  ( $\text{MDÄ}_{\text{NH}_4\text{-N}}$ ) von 73 %. Rindergülle wies ein etwas niedrigeres  $\text{MDÄ}$  von 63 % auf. Wurde der Biogasgärrest in eine feste und flüssige Phase abgetrennt (mittels Pressschneckenseparator), so änderte sich das  $\text{MDÄ}$  deutlich. Die flüssige Phase des BGR wies dann ein  $\text{MDÄ}$  von 76 % auf, während die feste Phase ein signifikant niedrigeres  $\text{MDÄ}$  von nur noch 39 % kennzeichnete. Zudem zeigten sich deutliche Unterschiede der Kulturarten Wintergetreide und Silomais in den ortswechselnden Versuchen. Während die Düngung mit BGR zu Silomais bei unmittelbarer Einarbeitung ein  $\text{MDÄ}$  von 91 % aufwies, erzielten Winterweizen und Wintertriticale ein  $\text{MDÄ}$  von 55 % bzw. 56 %. Wurde der BGR auf unbestelltes Ackerland zu Silomais hingegen erst nach 3 Stunden eingearbeitet so sank das  $\text{MDÄ}$  auf 79 % bzw. 74 % bei einer Einarbeitung nach 24 Stunden. Berechnungen des N-Entzugs der geprüften Kulturarten zeigten zudem, dass die vollständige Rückführung der je Flächeneinheit anfallenden Nährstofffrachten nach Ermittlung des einfachen Stickstoffsaldos prinzipiell möglich ist. Die Erreichung hoher Erträge sollte jedoch nicht durch eine Erhöhung des Substratinputs über die Biogasanlage respektive BGR erfolgen. Insgesamt zeigten die unbehandelten BGR eine gegenüber Rindergülle leicht gesteigerte N-Effizienz. Standortabhängige Unterschiede führten zu großen Abweichungen in der N-Effizienz der BGR.

### Summary

To evaluate the effect of nitrogen nutrition by Biogas residues (BGR), four experimental sites have been planted with triticale whole plant silage (x Triticosecale), winter wheat (*Triticum aestivum*), maize (*Zea mays*), grassland and a cropping system including maize (*Zea mays*), triticale whole plant silage (x Triticosecale) and ryegrass (*Lolium perenne*).

In order to assess the efficiency of an organic fertilizer, it is important to know the efficiency of the individual nutrients in comparison to a well-known standard. This can be achieved by calculating mineral fertilizer equivalents (MFE). The MFE parameter displays

the necessary amount of mineral nitrogen fertilizer to reach the dry matter yield of an organic fertilizer (in percentage of the applied  $\text{NH}_4\text{-N}$  by an organic fertilizer). In the above described cropping system, the BGR reached a MFE relating to the applied  $\text{NH}_4\text{-N}$  of 73 %. Cattle manure showed a slightly lower MFE of 63%. In the case of separation (by press-screw separator), the MFE changed significantly. The liquid phase of BGR had a MFE of 76 %, while the solid phase showed a significantly lower MFE of only 39 %. In addition, the types of crops (winter grain and maize) differed in MFE in the trials with annual changing experimental site. While fertilization with BGR before planting of silage maize resulted in a MFE of 91 % (with immediate incorporation of BGR after application), winter wheat and winter triticale achieved MFEs of 55 % and 56 %, respectively. On the other hand, if BGR was applied on uncultivated arable land before planting of maize and the incorporation was not performed within 3 hours after application, the MFE dropped to 79 % respective 74 % when BGR was incorporated after 24 hours after application. Calculation of N-Uptake of the tested cultivars also showed, that a complete return of the per hectare resulting nutrient loads in Biogas cropping systems is principally possible without exceeding the guidelines of the German fertilizer ordinance. However, reaching high yields in a Biogas cropping system should neither been done by increasing the substrate inputs into the biogas plant BGR nor by increasing the BGR application rate. Overall, the untreated BGR showed a slightly increased N efficiency compared to cattle manure. Site-specific differences led to large variations in N efficiency of BGR.

## 1 Einleitung

Die anaerobe Vergärung organischer Biomasse verzeichnete in den vergangenen Jahren einen Boom durch den Bau von Biogasanlagen. Seit dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 und dessen Novellierungen im Jahr 2004, 2009 und 2012 ist die Produktion und Nutzung von Biogas, insbesondere im Bereich der Landwirtschaft, enorm gestiegen. Am Ende des Jahres 2011 [1] wurden in Deutschland fast 7300 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von rund 3000 MW betrieben. Bezogen auf die Anlagenzahl bedeutet dies eine siebenfache Zunahme der Biogasanlagen gegenüber dem Jahr 2000. Parallel dazu hat sich in diesem Zeitraum auch die Gesamtmenge an anfallendem Biogasgärrest (BGR) erhöht. Für das Bundesgebiet Deutschland bedeutet dies Ende 2012 einen Nährstoffanfall von jährlich ca. 82 Millionen  $\text{m}^3$  Biogasgärrest mit etwa 416.000 t Stickstoff, 162.000 t  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 341.000 t  $\text{K}_2\text{O}$  und 51.000 t MgO [2].

Um den Einsatz von in der Produktion energieintensiver, anorganischer Düngemittel möglichst reduzieren zu können, gilt es, die Rückführung dieser Nährstofffrachten zur Pflanzenernährung optimal zu gestalten. BGR aus der anaeroben Vergärung enthalten mineralisierten Stickstoff hauptsächlich als  $\text{NH}_4\text{-N}$  (~56 %), welcher als N-Quelle leicht verfügbar ist, sowie schwer verfügbaren organischen N, Kohlenstoff, Phosphor und weitere wesentliche Elemente der Pflanzenernährung (Spurennährstoffe). BGR kann somit als wertvolles Düngemittel angesehen werden [3] [4]. Da jedoch die in BGR vorliegenden Nährstoffe unterschiedliche Löslichkeit aufweisen, muss für die Pflanzenernährung und auch Düngeplanung deren Verfügbarkeit abschätzbar sein. Bei der Anwendung von BGR beeinflussen auch gasförmige Verlustquellen ( $\text{NH}_3$ ) die Stickstoffwirkung. Aufgrund gesteigerter pH-Werte im BGR wird diesem oftmals ein erhöhtes Risiko ammoniakalischer Verluste ausgewiesen [5] [6]. Demgegenüber stehen jedoch reduzierte TS-Gehalte und damit ein besseres Infiltrationsvermögen bei geringerer Viskosität [7]. Auch  $\text{N}_2\text{O}$ -Verluste kön-

nen mindernd auf die die N-Effizienz wirken. Hinzu kommen sämtliche weitere N-Verlustquellen, welchen auch die mineralische Düngung unterliegt. Um die Stickstoffwirkung bei der Anwendung von Biogasgärrest einstuft zu können, wurden Feldversuche unter Freilandbedingungen angelegt. Ziel der Untersuchungen war es, mit praxisnahen Applikationsmethoden die Wirkung von Biogasgärresten zu prüfen und daraus deren Nährstoffverfügbarkeit einschätzen zu können.

## 2 Material und Methoden

Seit 2008 werden an der Landesanstalt für Landwirtschaft in Bayern Feldversuche an den Forschungsstationen in Puch, Bayreuth, Landsberg a. Lech und Steinach durchgeführt. Geprüft wurde die Wirkung verschiedener BGR zu den Kulturen Triticale Ganzpflanzensilage (*x Triticosecale*), Winterweizen (*Triticum aestivum*), Mais (*Zea mays*) anhand ortswechselnder Versuche und auf Grünland. Darüber hinaus gab es ein ortsfestes Fruchtfolgesystem mit den Fruchtfolgegliedern Mais (*Zea mays*), Triticale Ganzpflanzensilage (*x Triticosecale*) und Weidelgras (*Lolium perenne*). Dieses Fruchtfolgesystem wurde insbesondere angelegt, um die spätere Langzeitwirkung der organischen Bestandteile im BGR prüfen zu können.

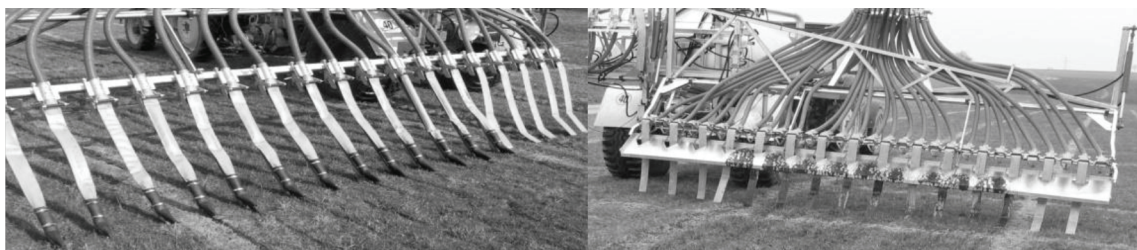
Tab. 1: Übersicht der an den Standorten verwendeten organischen Dünger (Anzahl) sowie der angelegten Versuche in den Jahren 2009-2011.

| 2009-2011               | Puch | Bayreuth | Landsberga.<br>Lech | Steinach |
|-------------------------|------|----------|---------------------|----------|
| Biogasgärrest           | 1    | 1        | 1                   | 4        |
| Rindergülle             | 1    | 1        | 1                   | 1        |
| BGR sep. flüssig        | 1    | 1        | 1                   | -        |
| BGR sep. fest           | 1    | 1        | 1                   | 1        |
| Ortswechselnde Versuche |      |          |                     |          |
| Wintertriticale GPS     | X    | X        | -                   | -        |
| Winterweizen            | X    | X        | -                   | -        |
| Silomais                | X    | X        | -                   | -        |
| Ortsfeste Versuche      |      |          |                     |          |
| Grünland                | X    | X        | -                   | -        |
| Fruchtfolgeversuch      | X    | X        | X                   | (X)      |

Untersucht wurde die Wirkung der Stickstoffdüngung aus unbehandeltem BGR, mittels Pressschneckenseparator abgetrennter flüssiger und fester Phase, einer Rindergülle sowie verdünntem BGR (1:1-Verdünnung mit Wasser).

Zur Durchführung der Feldversuche und einer möglichst exakten Dosierung der organischen Dünger wurde ein spezielles Fass angefertigt. Über seitliche Ausleger mit einer Arbeitsbreite bis drei Meter konnte eine Ausbringung der Biogasgärreste ohne Überfahren der Parzellen gewährleistet werden. Geprüft wurden die drei Ausbringungstechniken Breitverteilung über ein Verteilerblech, Schleppschlauch- sowie Schleppschuhausbringung (siehe Abb. 1). Die lange Flugphase sowie feine Zerstäubung der organischen Partikel bei der verwendeten Breitverteilung, wie sie bei einer Breitverteilung mit Prallkopf gegeben ist, kommt hier nicht vor. Dies entspricht somit nicht der praxisüblichen Breitver-

teilung, welche in Exaktversuchen aber nur schwer zu realisieren ist. Die Steuerung der Applikationsmenge erfolgte über ein Drei-Wege-Ventil. Dieses Ventil wird durch ein Rechenterminal angesteuert. Den Dateninput liefert ein an der Achse des Fasses befindlicher Geschwindigkeitssensor sowie ein magnetisch-induktives-Durchflussmessgerät mit Messumformer (Fa. IFC 100 KROHNE Messtechnik GmbH).



*Abb. 1: Breitverteiler-, Schleppschlauch- und Schleppschuhtechnik am Versuchsfass der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft*

Sämtliche Untersuchungen wurden in der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weißenstephan vorgenommen. Die  $N_{\min}$ - sowie Standardbodenuntersuchungen des Standortes Bayreuth wurden am Fachzentrum Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Veitshöchheim untersucht. Als Referenzmethode für die Ermittlung des Rohprotein-Gehaltes für Wintertriticale Ganzpflanzensilage, Winterweizen Korn sowie Weidelgras und Grünland wurde die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes nach DUMAS (Elementaranalyse; vario MAX™ bzw. vario EL™; Fa. Elementar Analysensysteme GmbH) angewandt. Die Silomaisproben wurden mittels NIRS (NIRSystems™ 5000; Fa. FOSS GmbH) untersucht. Die in den Versuchen verwendeten organischen Dünger wurden laufenden Untersuchungen unterzogen (nach VDLUFA MB II.1+2).

Um die Effizienz eines organischen Düngemittels einschätzen zu können, ist es wichtig den Wirkungsgrad der einzelnen Nährstoffe in Vergleich zu einem bekannten Standard zu setzen. Dies kann durch die Verwendung von Mineraldüngeräquivalenten (MDÄ) geschehen. Dieser Parameter verdeutlicht mit welcher Menge mineralischen Stickstoffs bei gleichem Trockenmasseertrag bereits die Wirkung des organischen Düngers erreicht werden konnte. Er eignet sich besonders bei Ableitungen zur Effizienz des organischen Düngers für die Praxis. Die Auswertung der Versuche erfolgte mit dem statistischen Programmpaket SAS Enterprise Guide 4.3 (Version 4.3.0.10196, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) und SAS 9.2 (Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Die Versuche wurden als "Lateinisches Rechteck" mit Auswertungsblöcken angelegt und verrechnet. Die Auswertungsgruppen wurden als Auswertungsserie der drei Versuchsjahre verrechnet. Unterschiede in den Varianten (Versuchsgliedern) wurden mittels einfaktorierlicher Varianzanalyse (GLM Procedure) und anschließendem t-Test (Least Significant Difference,  $\alpha=0,05$ ) ermittelt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Nährstoffgehalte in Biogasgärresten unterliegen großen Schwankungen (Tab. 2). Für eine sinnvolle Düngeplanung ist es notwendig, die Gärreste bei jedem Hauptausbringungs-termin zu untersuchen. Eine repräsentative Probenahme des Biogasgärrestes aus hinreichend aufgerührtem bzw. homogenisiertem Endlager ist hierfür Grundvoraussetzung. Aber nicht nur zwischen verschiedenen Anlagen sondern auch innerhalb einer Biogasanlage können stärkere Schwankungen im Nährstoffgehalt des BGR auftreten. Bei Betrachtung zweier Biogasanlagen über den Untersuchungszeitraum von ca. vier Jahren zeigten sich relativ große Schwankungen der Stickstoffgehalte im Biogasgärrest.

Tab. 2: Durchschnittliche Nährstoffgehalte in Biogasgärresten, eigene Untersuchungen

|      | TS-Gehalt % | N <sub>t</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | NH <sub>4</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | % des N <sub>t</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | K <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|---------------------------------------|
| Ø    | 6,5         | 5,1                                 | 3,2                                  | 63                   | 2,3  | 5,5                                   |
| Min. | 2,9         | 2,4                                 | 1,4                                  | 58                   | 0,9  | 2,0                                   |
| Max. | 13,2        | 9,1                                 | 6,8                                  | 75                   | 6,0  | 10,9                                  |

Eine konstante Ausbringungsmenge von 30 m<sup>3</sup> Biogasgärrest/ha würde unter Annahme der gemessenen Nährstoffvariabilität einer Düngermenge zwischen 105-174 kg N<sub>Ges</sub>/ha bei Anlage A bzw. 108-145 kg N<sub>Ges</sub>/ha bei Anlage B entsprechen (Abb. 2). Diese Werte verdeutlichen die Notwendigkeit, laufende Nährstoffuntersuchungen durchzuführen.

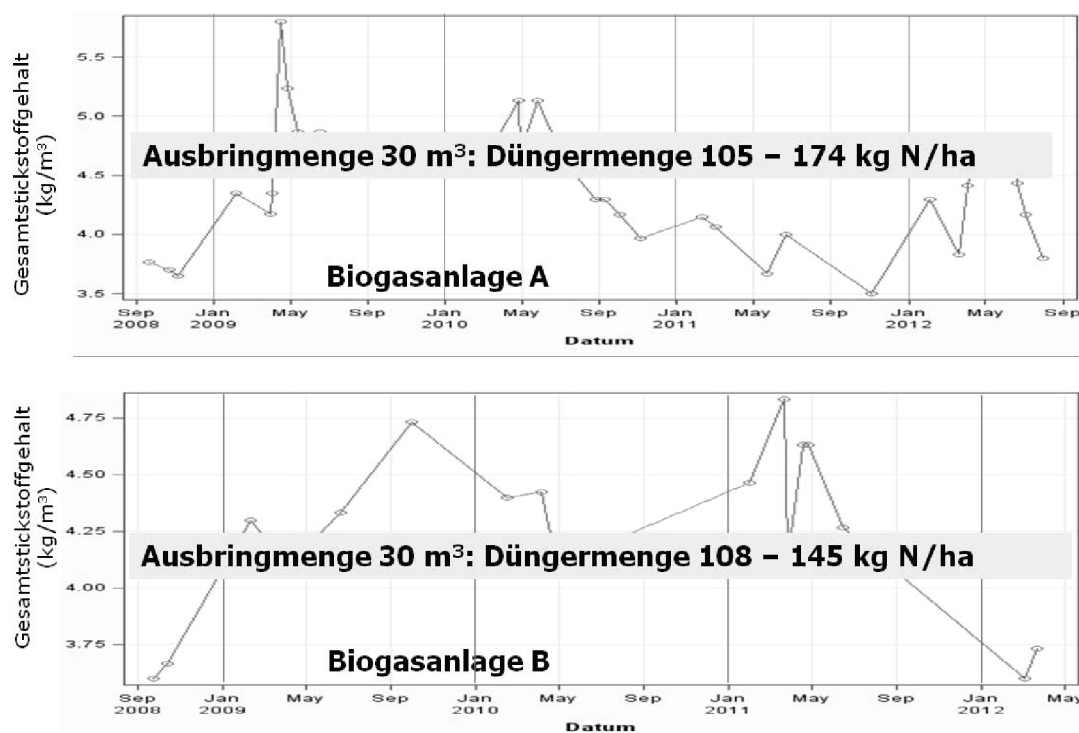


Abb. 2: Variabilität des Gesamtstickstoffgehaltes des Gärrestes zweier Anlagen über den Betrachtungszeitraum von einem Jahr, eigene Untersuchungen

Durch den Vergärungsprozess verändern sich zudem einige Eigenschaften der Gärreste im Vergleich z. B. zu unvergorener Rindergülle. Abbildung 3 gibt einen Überblick der pH-Werte von den im Feldversuch verwendeten organischen Düngern. Diese unterstreichen insbesondere in Zusammenhang mit den üblicherweise hohen Ammoniumstickstoffgehalten von 60 bis 70 % in Gärresten und immerhin noch 40 bis 50 % in den festen separierten Fraktionen ein erhöhtes Risiko für Ammoniakverluste während der Lagerung und Ausbringung. In Tastversuchen an abgelagertem separiertem Biogasgärrest wurden in der äußeren Schicht bereits nach 17 Tagen Lagerzeit nur noch etwa 30 % des Ausgangsgehaltes an Ammoniumstickstoff gefunden. Daher gilt es den festen Gärrest so wenig wie möglich umzulagern. In der Folge muss auch der separiert feste Biogasgärrest rasch eingearbeitet werden um den darin enthaltenen Ammoniumstickstoff vor gasförmigen Verlusten zu schützen.

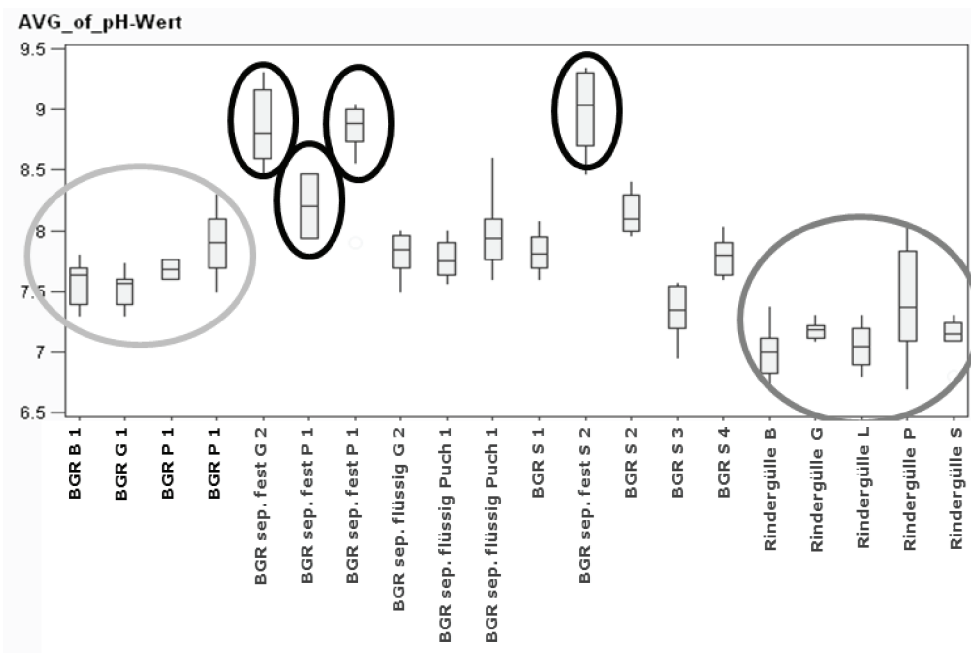


Abb. 3: pH-Werte von Rindergüllen, Biogasgärresten (BGR) und separierten Gärresten (BGR sep. fest bzw. sep. flüssig); eigene Untersuchungen

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften des organischen Düngers hatten einen maßgeblichen Einfluss auf das Mineraldüngeräquivalent. Speziell die separiert festen Biogasgärreste wiesen in den Versuchen signifikant niedrigere Mineraldüngeräquivalente auf. Dies kann zum einen an höheren gasförmigen Verlusten durch Ammoniak aufgrund erhöhter pH-Werte liegen. Zum andern gibt es Hinweise auf eine ausgeprägte Immobilisierung des enthaltenen  $\text{NH}_4\text{-N}$  nach Düngung mit separiert festem BGR [8]. Das MDÄ der separiert flüssigen BGR lag bei 72 % zu Wintertriticale GPS, 65 % zu Winterweizen Korn und 87 % zu Silomais im Mittel der Standorte Puch und Bayreuth (2009-2011). Ein wesentlich niedrigeres MDÄ lieferte der erwähnte separiert feste BGR mit 32 % zu Wintertriticale GPS, 39 % zu Winterweizen Korn und 27 % zu Silomais. Der ortsfeste Feldversuch mit der zweijährigen Fruchtfolge Silomais – Wintertriticale GPS – Einjähriges Weidelgras zeigte eine ähnliche Abstufung der eingesetzten organischen Dünger. Zusätzlich konnten deutliche Schwankungen der drei Einzeljahre und vier Standorte festgestellt werden.



Tab. 3: MDÄ des applizierten  $\text{NH}_4\text{-N}$  verschiedener organischer Dünger im Mittel der Standorte Puch und Bayreuth (2009-2011, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz; t-Test  $p \leq 0,05$ )

| Ortswechselnde Versuche | MDÄ (% vom $\text{NH}_4\text{-N}$ ) |              |          |
|-------------------------|-------------------------------------|--------------|----------|
|                         | Wintertriticale GPS                 | Winterweizen | Silomais |
| Biogasgärrest           | 56 % ab                             | 55 % ab      | 91 % a   |
| BGR sep. flüssig        | 72 % a                              | 65 % a       | 87 % a   |
| BGR sep. fest           | 32 % c                              | 39 % c       | 27 % b   |
| Rindergülle             | 42 % b                              | 51 % b       | 66 % a   |

Am Standort in Steinach konnten insgesamt vier BGR geprüft werden. Die MDÄ variierten dort zwischen 72, 73, 75 und 87 %. Die Abweichung von BGR 3 mit 87 % beruht auf einem Einzeljahreseffekt in 2011 mit einer gesteigerten Ertragswirkung (n. s.) des BGR bei gleichzeitig flacher mineralischer N-Ertragssteigerung. Insgesamt zeigten die an diesem Standort verwendeten Biogasgärreste eine relativ konstante N-Effizienz bezogen auf ihren  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt. Am Standort Puch erreichte der Biogasgärrest im Fruchtfolgeversuch ein MDÄ von 72 %, in Bayreuth 76 %. Auffallend war lediglich der Standort Landsberg. Hier zeigten alle organischen Dünger eine deutlich schlechtere N-Effizienz (nur ca. 60 % N-Effizienzniveau zu den anderen Standorten). In der Relation zueinander verhielten die organischen Dünger sich dessen ungeachtet entsprechend den anderen drei Standorten.

Bei Kenntnis der N-Effizienz von Biogasgärresten können diese präzise in eine Düngeplanung aufgenommen werden. Darüber hinaus kann der Landwirt über die Verwendung bodennahe Applikationstechniken einen weiteren Schritt in Richtung gesteigerter N-Effizienz leisten. Die Feldversuche zur Wirkung der Applikationstechniken mit BGR zeigten eine signifikante Steigerung des MDÄ von 74 % auf 79 % bei Verwendung von Schleppschuhen gegenüber Schleppschläuchen in Winterweizen (Abb. 4).

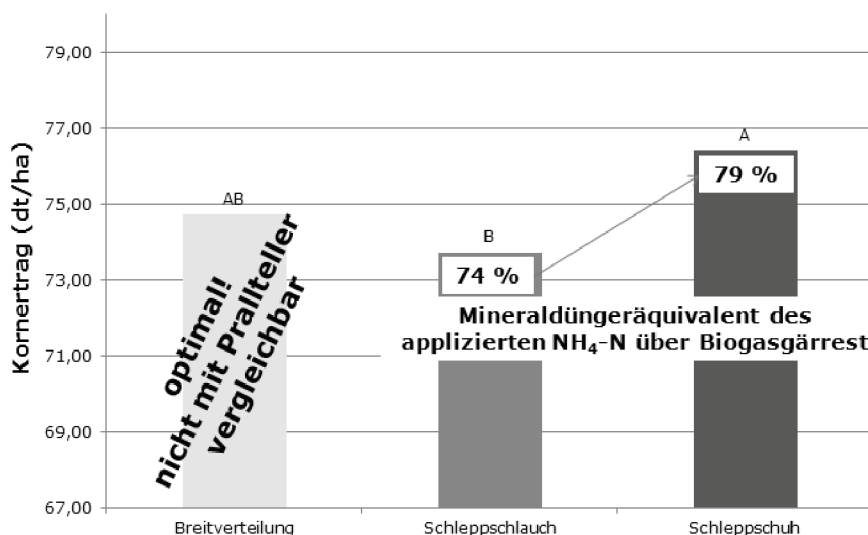


Abb. 4: Vergleich der Applikationstechniken Breitverteilung, Schleppschlauch und Schleppschuh zu Winterweizen (zweifaktorielle Auswertung der Applikationstermine Vegetationsbeginn und BBCH 31, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz; t-Test  $p \leq 0,05$ )

Ebenso konnte durch eine unmittelbare Einarbeitung des applizierten BGR auf unbestelltem Ackerland zu Silomais gegenüber einer Einarbeitung nach 3 Stunden das MDÄ von 79 % auf 91 % verbessert werden. Eine Einarbeitung nach 24 Stunden verringerte die N-Wirkung nochmals auf 74 % MDÄ.

## 4 Schlussfolgerungen

Schlussfolgernd stellt sich die Frage, ob eine effiziente Düngung mit Biogasgärresten unter Erzielung von Höchstertträgen und gleichzeitiger Einhaltung der Vorgaben durch die Düngeverordnung (DüV) möglich ist. Das Beispiel der Abbildung 5 verdeutlicht in Anlehnung an die Ergebnisse der Feldversuche beispielhaft den Nährstoffkreislauf eines Jahres auf einer Fläche, die intensiv zum Anbau von Substraten für die Biogasanlage genutzt wird. Der mit dem Pflanzenmaterial aufgenommene und der Biogasanlage zugeführte Stickstoff geht im Laufe des Gärprozesses, abgesehen von Lagerverlusten in Höhe von 5 %, nicht verloren. Die bei der Ausbringung entstehenden Verluste können nach DüV bis zur Höhe von 14,3 % berücksichtigt. Gasförmige Verluste durch die Anwendung bodennaher bzw. injizierender Applikationstechnik reduziert werden. Rechnerisch gelangen somit nach DüV 179 kg Stickstoff mit dem Gärsubstrat wieder auf die Fläche. Wird die Summe der genannten Verluste in Höhe von 41 kg (ohne Standortverluste) durch Mineraldünger (oder andere Düngemittel) ersetzt, ist die Stickstoffbilanz als fachlich ausgeglichen zu betrachten. Die Vorgaben der DüV erlauben es zusätzlich Stickstoff bis zu einem maximalen N-Saldo von +60 kg N/ha im Durchschnitt der letzten 3 Jahre einzusetzen (im Bsp. 101 kg N/ha). Wird wiederum ein N-Anfall von 209 kg N/ha aus BGR angenommen (220 kg N abzgl. 5 % Verluste), so lässt sich hiervon der im Anwendungsjahr verfügbare Stickstoffanteil als Ableitung der Feldversuche berechnen.

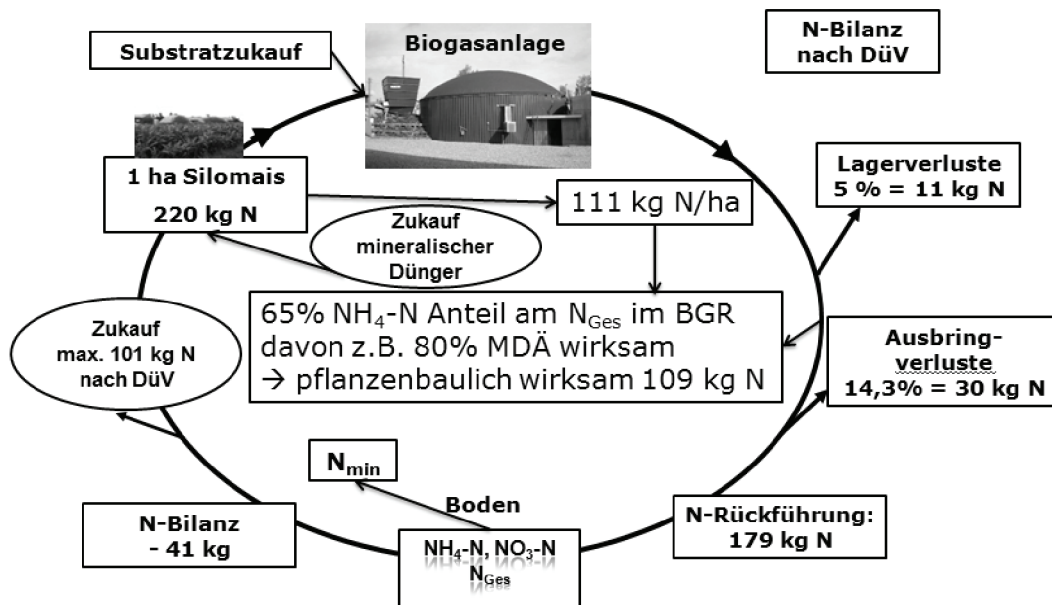


Abb. 5: Vereinfachter Stickstoffkreislauf einer Biogasanlage

Bei einem  $\text{NH}_4\text{-N}$  Anteil von 65 % am  $\text{N}_{\text{Ges}}$  im BGR sowie einem MDÄ von 80 % (dies entspricht einer Einarbeitung nach ca. 3 Stunden und kann bei direkter Injektion auch höher sein) ergibt sich ein pflanzenbaulich wirksamer N-Anfall von 109 kg N/ha. Die Diffe-

renz aus N-Entzug (220 kg N/ha) und pflanzenbaulich verfügbarem N (109 kg N/ha) ist dann durch den im Frühjahr verfügbaren sowie während der Vegetationsperiode verfügbar werdenden, mineralisierten N aus dem Bodenpool sowie einer ergänzenden N-Gabe zu decken. Wie die Bilanzierung der Feldversuche zeigte, erhöhte eine zusätzliche Düngung mit BGR das Risiko einer Überschreitung des max. zulässigen N-Saldo deutlich, ohne das Ertragsmaximum ausschöpfen zu können. Deutlich besser zeigte sich eine kombinierte Düngung mit mineralischem Stickstoff, welcher insbesondere in Getreide die Möglichkeit einer feingesteuerten Bestandsführung ermöglicht. In vielen Fällen stellt jedoch nicht Stickstoff sondern Phosphat die Obergrenze für die Ausbringung von Biogasgärresten dar. Die Düngeverordnung lässt für Flächen mit der Versorgungstufe C (optimal) im Durchschnitt von 6 Jahren nur einen Überschuss von 20 kg/ha und Jahr zu.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass BGR in deren Nährstoffgehalten starken Schwankungen unterliegen und somit bereits bei der Nährstoffuntersuchung und Probenahme auf besondere Sorgfältigkeit geachtet werden muss. Das Mineraldüngeräquivalent hängt dann insbesondere von den Kulturarten, spezifischen Standortbedingungen, der Jahreswitterung und den Applikationsbedingungen ab. Die gewonnenen MDÄ sind folglich als Richtwerte für eine optimierte Düngeplanung mit BGR anzusehen und bedürfen einer zusätzlichen Feinabstimmung.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Fachverband Biogas e.V. (2012): Branchenzahlen 2011 Deutschland. Abrufbar unter: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen). Abgerufen: April 2013.
- [2] eigene Berechnungen nach Fachverband Biogas e.V., 2009, © 2012, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Biogas-Betreiber-Datenbank Bayern (BBD), München.
- [3] Raubuch, Markus, Thomas Terhoeven-Urselmans, and Edwin Scheller (2005): "Biogas suspension: quality and effect on yield." Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 2005: 199-200.
- [4] Asmus, F, and B Linke (1987): "Zur pflanzenbaulichen Verwertung von Gülle-Faulschlamm aus der Biogasgewinnung." *Feldwirtschaft* 28,1987: 354-355.
- [5] Mannheim, T. (1994): Ammoniakemissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen: Quellen und Minderungsmaßnahmen. Dissertation.
- [6] Reitz, P., & Kutzbach, H. D. (1998): Ammoniakemissionen nach der Flüssigmistausbringung. Einfluss verschiedener Flüssigmistvorbehandlungen. *Landtechnik* 53.
- [7] Hersener, J.-L., Meier, U., & Dinkel, F. (2002): Ammoniakemissionen aus Gülle und deren Minderungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Vergärung. Luzern: Amt für Umweltschutz Kanton Luzern und in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie.
- [8] v. Tucher, S., Fouda, S., Lichti, F., & Schmidhalter, U. (2011): Kurz- und längerfristige Stickstoffwirkung nicht separierter und separierter Biogasgärreste zu Weidelgras nach einmaliger und wiederholter Ausbringung. Gülle 11 Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, (43-47). Kloster Reute.

---

# Biogas als Baustein der Energiewende

Martin Strobl

LfL, Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, Menzinger Str. 54, 80638 München

Martin.Strobl@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Die landwirtschaftliche Biogaserzeugung wurde erstmals in der Nachkriegszeit aufgrund der damals herrschenden Treibstoffknappheit als Energielieferant interessant, verlor aber wenig später in Zeiten des Wirtschaftswunders und niedriger Kohle- und Ölpreise schnell wieder an Bedeutung [13]. Spätestens seit der Jahrtausendwende verzeichnete die bayerische Biogaserzeugung dank gesetzlicher Privilegierung (Einspeisevorrang, garantierte Vergütungssätze) einen starken Zubau und verfügt heute über eine Verstromungs- und äquivalente Biomethaneinspeiseleistung von rund 747 MW<sub>el.äq.</sub> [1]. Im Jahr 2011 trugen sie 7,54 Prozent zur bayerischen Netto-Stromerzeugung bei [3].

Die Branche hat sich gut entwickelt, muss sich zukünftig – will Biogas tatsächlich ein Baustein der Energiewende werden - aber völlig neuen Anforderungen stellen: Die landwirtschaftliche Biogaserzeugung der Zukunft erweist sich als hocheffizienter, nachhaltiger und flexibel einsetzbarer Energie-, Dünger- und Humus-Lieferant mit Eignung zur Reststoffverwertung und -aufbereitung. Hier liegen Potential, Daseins-Berechtigung und Forschungsbedarf. Als Baustein der Energiewende dient Biogas in einem ersten Schritt als Dienstleister der Landwirtschaft und in einem zweiten Schritt als Dienstleister der Energiewirtschaft mit kraftwerksähnlichen Eigenschaften.

## Summary

Agricultural biogas production was profitable for the first time during the post-war period, due to the prevalent fuel shortage at that time. However, a little later with the emergence of the German economic miracle and low coal and oil prices, it lost quickly in importance. Since the turn of the millennium, Bavarian biogas production has been experiencing a strong expansion thanks to government regulations (feed-in priority, guaranteed feed-in tariffs). Today it consists of an electric load - and equivalent biomethane-to-electricity load of approximately 747 MW<sub>el.eq.</sub> In 2011 biogas production accounted for 7.54 % of the Bavarian net-power generation.

The industry has been developing well, but faces completely new challenges if it wants to become an important building block in the energy transition to renewable energy. The agricultural biogas production of the future proves to be a highly efficient, sustainable and flexibly useable energy, fertilizer and humus provider with the ability for waste processing and treatment. This is where potential, right to exist and further research lie. As a building

block in the energy transition, biogas serves in a first step as a service provider for agriculture and in a second step as a service provider with characteristics similar to power plants for the energy sector.

## 1 Einleitung

Knappe fossile Ressourcen, der Klima- und Umweltschutz zwingen uns zum Umbau unserer Energieversorgung. Dies ist nicht neu, aber der nach dem Reaktorunglück in Japan beschlossene und mittelfristig umzusetzende Atomausstieg hat nun vor allem im Stromsektor klare Fristen gesetzt. Das letzte bayerische Kernkraftwerk geht Ende 2022 vom Netz. Diese Wende im Stromversorgungssystem gilt es geordnet unter Einhaltung der Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Bezahlbarkeit umzusetzen [24]. Aber nicht nur die landwirtschaftliche Biogaserzeugung im Speziellen, sondern auch die Landwirtschaft im Allgemeinen steht vor völlig neuen Herausforderungen. Für beide gilt es den Energieverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu steigern und bedarfsgerecht erneuerbare Energieerzeugung auszubauen (vgl. Abb. 1).

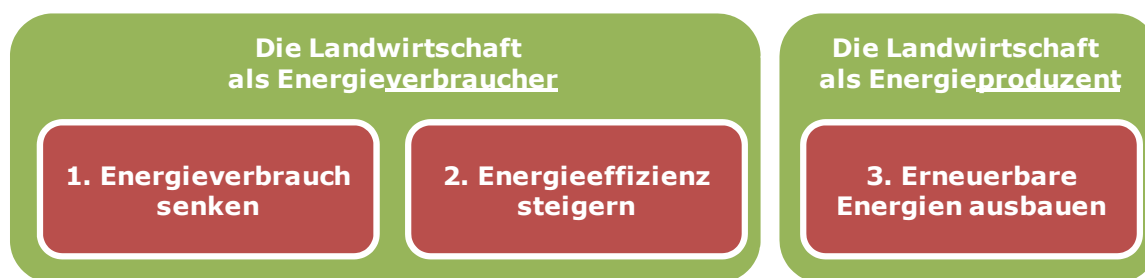


Abb. 1: Drei Schritte zum Gelingen der Energiewende als Herausforderung für die Landwirtschaft

## 2 Biogas zwischen Treibstoffknappheit sowie Energie- und Klimaziele

Das Potential der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung erkannte man erstmals in der Nachkriegszeit. Der aufgrund der damals herrschenden Treibstoffknappheit forschende Prof. Karl Imhoff wies „darauf hin, dass aus dem Stallmist einer einzelnen Kuh hundertmal so viel Gas erzeugt werden kann, wie aus dem Klärschlamm eines städtischen Einwohners. Kleine landwirtschaftliche Biogasanlagen waren daher eine folgerichtige Entwicklung. Kleine landwirtschaftliche Biogasanlagen verhießen eine sichere Versorgung der landwirtschaftlichen Betriebe mit einem bequem handhabbaren Energieträger“ [13], Von 1950 an wurde Kohle und Öl konkurrenzlos billig und die landwirtschaftlichen Biogasanlagen wieder stillgelegt.[13] Die Technologie geriet danach zwar nicht in Vergessenheit, es wurden allerdings nur vereinzelt im Rahmen von kleineren Biogas-Pilotanlagen Untersuchungen im Kontext der Kompostierung und Düngeraufbereitung durchgeführt sowie weitere Überlegungen zur energetischen Nutzung von Gülle angestellt. [14] In diesem Kontext nannte beispielsweise die damalige Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) ihre Forschungsanlage BiHuGas-Werk (Biologisches Humus- und Gaswerk). Alles in allem war der Biogasprozess ausreichend bekannt, die Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb fehlten allerdings.

Erst mit dem am 01. Januar 1991 in Kraft getretenen Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) [16] erfolgte ein wichtiger Impuls zur ersten Markteinführung der Erneuerbaren Energien mit dem Ziel der Stromeinspeisung ins öffentliche Netz. Wesentliches Element war der staatlich garantierte Stromnetz-Zugang sowie eine Einspeisevergütung anteilig nach dem durchschnittlichen Endkundenstrompreis. Das StrEG aus 1991 sowie die beiden Novellen in den Jahren 1994 und 1998 gaben auch der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung wichtige Impulse und richteten die Biogastechnologie auf die Stromerzeugung und – einspeisung aus. In Zeiten der landwirtschaftlichen Flächenstilllegungen rückte die Energieerzeugung verstärkt ins Bewusstsein der Landwirte und prägte u.a. die Begriffe „vom Landwirt zum Energiewirt“ und „zweites Standbein“. Eine Statistik aus dem Jahr 1997 zählte in Bayern 202 landwirtschaftliche Biogasanlagen mit einer elektrischen installierten Nennleistung von 8 MW [15], rechnerisch im Durchschnitt knapp 40 kWel. je Anlage.

Um die Jahrtausendwende setzte es sich die Bundesregierung zum Ziel, den damaligen Anteil der erneuerbaren Energien zu verdoppeln und eine breitere Markteinführung zu unterstützen [14]. In der Konsequenz trat am 01. April 2000 das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) [17] in Kraft. Aufbauend auf das StrEG garantierte das EEG zusätzlich für 20 Jahre eine Festvergütung, differenziert nach Sparten und Anlagengröße. Trotz stetig umfangreicher werdender Detailbestimmungen und sukzessiver Kürzung der Einspeisevergütung wurde dieser Grundgedanke auch in den Gesetzesnovellen der Jahre 2004, 2009 sowie zuletzt 2012 beibehalten und gab Landwirten, Anlagenherstellern und Banken ausreichende Planungssicherheit für den teilweise überraschend starken Ausbau der bayerischen Biogaserzeugung.

Ob des starken Einflusses des EEG ist die Förderung der erneuerbaren Energien längst nicht mehr isoliert zu betrachten, sondern ein Teil europäischer und nationaler Anstrengungen im Rahmen ihrer jeweiligen Energie- und Klimapolitik. Die bis dato gültigen energie- und klimapolitischen Zielwerte wurden im Jahr 2007 vereinbart: Im März 2007 beschlossen die europäischen Staaten die bekannte Formel "20-20-20". Im Kern verweist diese Formel auf die Verminderung der Treibhausgas-Emissionen um 20 Prozent gegenüber dem Referenzjahr 1990 sowie dem Ausbau der erneuerbaren Energien auf 20 % des Verbrauchs von 2020. Darüber hinaus soll der Primärenergieverbrauch durch eine Steigerung der Energieeffizienz um 20 % gegenüber dem für 2020 prognostizierten Niveau sinken. [19]. Zur nationalen Umsetzung richtete die Bundesregierung im August 2007 das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) ein. Der Begriff IEKP ist dabei seltener geläufig als die darin formulierten „Meseberger Beschlüsse“. Sie fordern im Wesentlichen relativ zu 1990 eine Reduktion der deutschen Treibhausgasemissionen um 40% sowie eine Verdopplung der Energieproduktivität und den Ausbau erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung auf 30% bis 2020. [18]

Wie Abb. 2 verdeutlicht, hat Bayern im Jahr 2011 beim Ausbau der erneuerbaren Energien mit 29,2 Prozent das im Jahr 2007 gesteckte 30 %-Ziele beinahe erreicht [3]. Die Biogaserzeugung trug davon 7,54 Prozentpunkte bei [3]. Aufgrund des hohen Anteils dieser Erneuerbaren, aber auch der umfangreichen Atomkraft wies Bayern 2011 zudem auch eine vorzügliche Treibhausgasbilanz der Stromerzeugung auf. Pro Kilowatt erzeugten Stroms wurden nur 110 g CO<sub>2</sub> -Äq. emittiert. [21] Zum Vergleich liegen die Treibhausgasemissionen von Stein- und Braunkohlekraftwerken weit über 700 g CO<sub>2</sub> -Äq. je Kilowattstunde elektrisch. Damit schien das Energie- und Klimaziel vorerst erreicht.

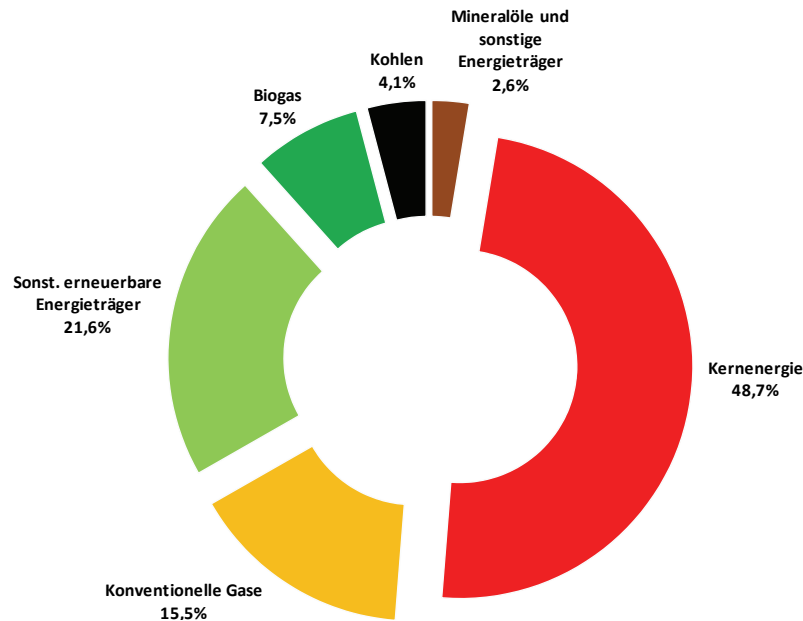


Abb. 2: Anteil der Energieträger an der Nettostromerzeugung in Bayern 2011 [3]

### 3 Die Energiewende

Eine Neubewertung der Situation erfolgte nach der Reaktorkatastrophe am 11. März 2011 in Fukushima. Als politische Reaktion rief die deutsche Bundesregierung die Energiewende aus. Dazu wurde das im September 2010 erstellte Energiekonzept am 6. Juni 2011 um ein „Energiepaket“ ergänzt. Das Paket enthält eine Reihe von Maßnahmen zur Umstrukturierung der Energieversorgung hin zu einem System mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien. [22]

Der beschlossene Atomausstieg stellt insbesondere Bayern vor eine neue Herausforderung. Der 48,7 % Anteil der Atomkraft im bayerischen Strommix aus dem Jahr 2011 muss im industriestarken und bevölkerungsreichen Bundesland bis 2022 mit der Abschaltung des dann letzten bayerischen Kernkraftwerkes Isar 2 gänzlich ersetzt werden (vgl. Abb. 2). Als Maßnahmenpaket beschloss die Bayerische Staatsregierung am 24. Mai 2011 das Bayerische Energiekonzept „Energie innovativ“. Das Konzept forciert zur Transformation des Stromversorgungssystems den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, die Erhöhung der Stromimporte sowie den Zubau mit fossiler Gas- und Dampfkraftwerke zur Sicherung der Stromversorgung.

Speziell der Biogaserzeugung kommt aufgrund der möglichen Regelbarkeit und gesicherten Verfügbarkeit eine besondere Rolle zu. Auch langfristig kann sich die aktuell überwiegend durchgeführte Grundlaststromeinspeisung der Biogasanlagen nicht am Strommarkt refinanzieren, einzige Chance bieten daher bedarfsgerechte Einspeisemuster. Alternativ scheint das langfristige Potential stromeinspeisender Biogasanlagen nahe Null.



## 4 Biogas als Baustein der Energiewende

Die Zukunft, das Potential und damit auch der Forschungsbedarf der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung finden sich daher nicht in der Einspeisung von Grundlaststrom ins öffentliche Stromverteilnetz. An deren Stelle werden bedarfsgerechte und betriebsintegrierte Konzepte zur Energie- und Nährstoffversorgung treten, die darüber hinaus ein großes Potential zu Klima- und Umweltschutz bieten. Zur Veranschaulichung dienen die folgenden Abschnitte.

### 4.1 Zukunftsvoraussetzung: Effizienz entlang der Biogas-Prozesskette

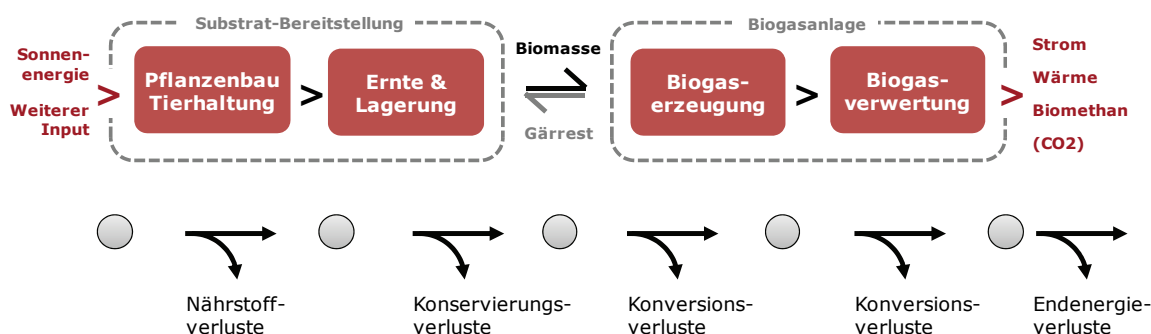


Abb. 3: Effizienz entlang der Biogas-Prozesskette

Biogas als hocheffizienter, nachhaltiger und flexibel einsetzbarer Energie-, Dünger- und Humus-Lieferant mit Eignung zur Reststoffverwertung und -aufbereitung! Voraussetzung für bedarfsgerechte und betriebsintegrierte landwirtschaftliche Biogaserzeugung bleibt ein effizienter, wirtschaftlicher und in seinen Umwelt- und Klimawirkungen nachhaltiger Biogas-Prozess. Ähnlich anderen Produktionsprozessen weist auch er verschiedenste Verlustquellen auf (vgl. Abb. 3). Die Komplexität aller Anstrengungen zur nachhaltigen Effizienzsteigerung zeigen die vorausgehenden Beiträge des Arbeitskreises 2.

Die wohl größte Herausforderung bleibt die optimierte und nachhaltige Biomasse-Bereitstellung vom Feld, weil sie aufgrund ihrer Standort- und Witterungsabhängigkeit nur schwer verallgemeinert betrachtet und geregelt werden kann, jedoch nennenswerten Einfluss auf die Bilanz der Klima- und Umweltwirkungen sowie die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses nimmt. In diesem Kontext bietet gerade auch der effiziente und nachhaltige Einsatz der Gärreste ein merkliches zusätzliches Potential.

Soll die landwirtschaftliche Biogaserzeugung in Zukunft noch eine Rolle spielen, sind wir auf die möglichen Effizienzsteigerungen durch neue Erkenntnisse, Methoden und Techniken zur Steuerung und vielleicht sogar Regelung der Verfahrenstechnik im Allgemeinen und der Mikrobiologie im Speziellen angewiesen. Dies betrifft nicht nur eine mögliche Senkung der Produktionskosten durch Erhöhung der Energieausbeute oder durch Verringerung des Aufwands, sondern auch flexiblere und individuellere Betriebsmuster bei der Biogaserzeugung sowie eine Erweiterung des Substratspektrums.

## 4.2 Baustein 1: Betriebsintegrierte Zukunftskonzepte

Biogas als Dienstleister der Landwirtschaft! Biogas sollte zukünftig vor allem in der Gestaltung betriebsintegrierter Konzepte eine prioritäre Rolle einnehmen. Noch mehr als bisher könnte dessen Funktion als innerbetriebliche „Düngerfabrik“ und „Energielieferant“ Beachtung finden. Die Größe der Biogasanlage kann sich dabei der betrieblichen/regionalen Situation anpassen. Diese Gedanken seien kurz anhand zweier Beispiele erläutert:

Übernimmt der Biogas-Prozess im reinen Marktfruchtbaubetrieb die Funktion der nicht (mehr) vorhandenen Tierhaltung, ermöglicht der neue innerbetriebliche Kreislauf die Rücklieferung von Nährstoffen und humusbildender Biomasse. Der konventionelle Marktfruchtbaubetrieb wird den Gärrest überwiegend anhand seines Mehraufwands bei der Düngerausbringung sowie nach den Substitutionswerten für technisch hergestellte Reinnährstoffe inklusive alternativer Maßnahmen zum Humusaufbau bewerten. Hingegen ist der ökologische Marktfruchtbau per definitione auf biotische Stickstofffixierung im Pflanzenbestand angewiesen und hat das Problem der Nährstoffverluste im Pflanzenmulch. Ihm ermöglicht die Biogasanlage die energetische Nutzung des Pflanzenbestands, wobei die biotisch fixierte Stickstoffmenge damit verlustärmer in Form eines flüssigen und zur beliebigen Zeit einsetzbaren Düngers verfügbar wird.

Aber auch in Betrieben mit Tierhaltung versucht die Biogasanlage der Zukunft noch stärker die betrieblichen Kreisläufe zu stärken und durch Reststoffnutzung deren Effizienz zu steigern. Die zusätzliche Energieerzeugung ermöglicht die teilweise Deckung des innerbetrieblichen Energiebedarfs (Beleuchtung, Lüftung, Fütterung, Melken u.v.m.).

Die Biogasanlage muss dabei selbsterklärend nicht ausschließlich einen betrieblichen Kreislauf, sondern kann auch einen auf regionaler Ebene Kreisläufe schließen.

Und die Ökonomie? Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wird auch zukünftig ein hoch-effizienter und nachhaltiger Biogas-Prozess vorausgesetzt. Verallgemeinert erhöhen steigende Energiepreise die Vorzüglichkeit dieser durch den Biogas-Prozess geschlossenen betrieblichen oder regionalen Kreisläufe. Dabei bietet sich die Chance eines möglichen konkreten Beitrags der Landwirtschaft zur Energiewende, der vor dem Ausbau der erneuerbaren Energien in prioritären Schritten auch der Senkung des Energieverbrauchs sowie die Steigerung der Energieeffizienz bedarf.

## 4.3 Baustein 2: Bedarfsgerechte Strom- und Methaneinspeisung



Abb. 4: Energiepolitisches Zieldreieck [24]

Biogas als Dienstleister der Energiewirtschaft! Erzeugt der landwirtschaftliche Betrieb mit Biogasanlage im Umfang oder zu bestimmten Zeiten mehr Energie als er selbst verbraucht, so stellt sich sehr schnell die Frage der Einspeisung in öffentliche Verteilnetze. Der Umfang dieser „Überschusseinspeisung“ wird in Bayern mittelfristig auf rund 9 % der Nettostromerzeugung geschätzt [2]. Die Einspeisung setzt langfristig allerdings voraus, dass dies bei Bedarf, mit vertraglich vereinbarter Sicherheit und selbsterklärend zu marktkonformen Preisen geleistet werden kann. Hier gilt das energiepolitische Zieldreieck der Bayerischen Staatsregierung: Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit, Umweltverträglichkeit (vgl. Abb. 4). Dabei bedürfen die verschiedenen Endenergieformen einer differenzierten Betrachtung:

Bei überschüssig vorhandener Wärme werden wohl auch langfristig nur lokale Nahwärmenetze in Frage kommen. Insofern bleibt die Ausgestaltung der Regelungen zur Liefersicherheit und Preisgestaltung individuell den jeweiligen Vertragspartnern überlassen.

Die Biomethaneinspeisung setzt als K.O.-Kriterium den Zugang zum öffentlichen Erdgasnetz oder zumindest einem regionalen Gas-Verteilnetz voraus. Aus technischen und ökonomischen Gründen sind aktuell die Biomethan-Einspeiseanlagen deutlich größer als übliche Biogasanlagen in Bayern. Damit sind sie auch schwieriger nachhaltig und effizient in landwirtschaftliche Strukturen einzubinden. Sie sollen im Rahmen des Beitrags nicht weiter diskutiert werden.

Da die Struktur und die Funktionsweise des zukünftigen Strommarktes derzeit noch nicht absehbar sind, bleibt vorerst unklar, ob, in welchem Umfang und in welcher Form das mengenmäßige Biogaspotential als Dienstleistung der Energiewirtschaft tatsächlich gehoben werden kann. Unabhängig davon bleibt das prioritäre Potential der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung als Dienstleister der Landwirtschaft bestehen.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Strobl, M. (2013): Biogas in Bayern – Zahlen zum 31.12.2012. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Biogas-Betreiber-Datenbank Bayern (BBD), Internet: <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/35144/> (Zugriff vom 27.05.2013) München 2013.
- [2] Aschmann, V., Effenberger, M., Graf, J., Halama, M., Keymer, U., Strobl, M., Winkler, J. (2012): Einsatz von Biogas zum Ersatz von Gaskraftwerken, Arbeitsgruppe 1 - Potential, verfahrenstechnische und ökonomische Konsequenzen für die Biogaserzeugung, Interne Studie, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- [3] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, Bayerisches Landesamtes für Umwelt (2012): Anteil der Energieträger an der Nettostromerzeugung in Bayern 2011. In: Energieatlas Bayern, Internet: <http://www.energieatlas.bayern.de>, Zugriff vom 28.05.2013.
- [13] Reinhold, G. & Vollmer, R. (2003): Zur Geschichte der Biogaserzeugung in Thüringen. Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL). Geschichtsheft. Nr.10, S. 244-256.
- [14] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU (2009): Innovationsbiographie der erneuerbaren Energien (FKZ: 0327607) – Endbericht, S.137ff.
- [15] Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, LBA (1997): Studie zur landwirtschaftlichen Biogaserzeugung in Bayern, München, 1997.

- [16] Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisungsgesetz) vom 07. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2633). Alternativer Kurzname: StrEG
- [17] Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert worden ist. Alternativer Kurzname: EEG
- [18] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU (2008): Das Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm (IEKP). Internet: <http://www.bmu.de/detailansicht/artikel/das-integrierte-energie-und-klimaschutzprogramm-iekp/> (Abruf am 03.06.2013)
- [19] Europäische Kommission: The EU climate and energy package. Internet: [http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm) . (Abruf am 03.06.2013) (englisch).
- [21] Ochsenbauer, M., Bachmaier, H., Strobl, M. und M. Effenberger (2013): Verbesserte Integration landwirtschaftlicher Biogasanlagen in das Energieversorgungssystem Bayern: Wie wirkt sich dies auf die spezifischen Treibhausgasemissionen aus? Poster zur Jahrestagung der Europäischen Akademie, 03.06.2013, Bonn.
- [22] Informationsdienst Wissenschaft, IDW (2013): Energiewende – zwischen Konzept und Umsetzung. Internet: <http://idw-online.de/pages/de/event42296>, Abruf am 04.06.2013.
- [24] Bayerische Staatsregierung (2011): Bayerisches Energiekonzept „Energie innovativ“. Internet: <http://www.bayern.de/Anlage10344945/BayerischesEnergiekonzeptEnergieinnovativ.pdf>, Abruf vom 01.05.2013.

---

# Vorkommen und Analyse von Mykotoxinen in pflanzlichen Erzeugnissen

Johann Rieder

LfL, Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen,  
Prof.-Dürrwächter-Pl. 1, 85586 Poing/Grub

Johann.Rieder@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Die Kontamination von pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln mit toxischen Sekundärmetaboliten pilzlichen Ursprungs, sogenannten Mykotoxinen, stellt weltweit ein großes Problem dar. Die FAO geht davon aus, dass 25 % der Weltnahrungsproduktion durch Mykotoxin bildende Schimmelpilze betroffen sind. Deoxynivalenol (DON) ist ein weit verbreitetes Fusarientoxin, das weltweit in vielen Getreidearten zu finden ist. Die DON-Analytik an der LfL erfolgt durch Hochdruckflüssigchromatographie mit Nachsäulenderivatisierung und Fluoreszenzdetektion. Langjährige Untersuchungen ausgewählter bayrischer Proben von Winterweizen zeigten, dass im Erntejahr 2012 mit erhöhten DON-Werten zu rechnen war, was größtenteils auf vielfältige Niederschläge während der Weizenblüte zurückzuführen war. Erste Untersuchungen zur Bestimmung des maskierten DON-3-Glykosids in einzelnen Weizenkörnern zeigten einen Wert von bis zu 11 % DON-3-Glukosid vom DON-Gehalt in befallenen Körnern.

## Summary

The contamination of food and feed with toxic secondary metabolites of moulds, so called mycotoxins, is a major problem worldwide. The FAO estimates that 25 % of the world crop production is affected by mycotoxin producing fungi. Deoxynivalenol (DON) is a common toxic metabolite which is produced by *Fusarium* species and occurs worldwide in small grain cereals. DON-analysis at the LfL consists of a high performance liquid chromatography with post column derivatization and fluorescence detection. Long term monitoring of selected grain samples of Bavarian origin, especially winter wheat showed that the 2012 harvest resulted in elevated levels of DON which could be explained by continuous rainfall during flowering of the wheat. First attempts to measure the masked DON-3-glucoside in single wheat kernels demonstrated that an additionally 11 % of the DON content accounts for the DON-3-glucoside.

## 1 Einleitung

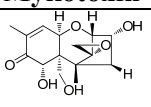
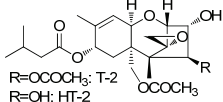
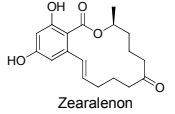
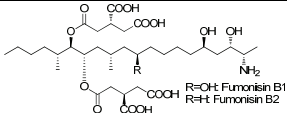
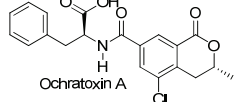
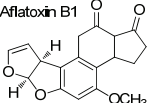
Mykotoxine sind sekundäre Stoffwechselmetaboliten von Schimmelpilzen, die für das vegetative Wachstum des Organismus nicht lebensnotwendig sind. Sie dienen der Abwehr von Konkurrenten im Kampf um das Nahrungsangebot und sind teilweise Pathogenitäts-

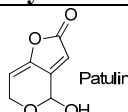
faktoren, um Pilzen den Zugang zur Pflanze zu erleichtern. Da Schimmelpilze ubiquitär vorkommen, können sie jederzeit Zugang zur Nahrungskette erlangen und unter geeigneten Bedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur) Nahrungs- und Futtermittel befallen und mit Mykotoxinen kontaminieren. Man unterscheidet zwischen Feld- und Lagerpilzen. Mykotoxine sind komplexe organische Moleküle, die eine Vielzahl chemischer Strukturtypen aufweisen. Eine oft zitierte Zahl nennt ca. 350-500 relevante Mykotoxine, die in der Nahrungskette von Bedeutung sind.

Viele Mykotoxine zeigen mehrfache biologische Wirkungen, die im Einzelnen aufwändige Untersuchungen erfordern, um ihr toxisches Potential abzuschätzen. Man unterscheidet dabei die akute Toxizität, die sich nach Aufnahme größerer Mengen vom Toxin manifestiert und eine chronische Toxizität durch längerfristige Exposition geringerer Konzentrationen. Bezüglich der akuten Toxizität sind Bakterientoxine oder Toxine marinen Ursprungs sowie einige Pflanzengifte deutlich toxischer als die Mykotoxine. Die Hauptgefahr für die Nahrungskette geht aber von einer chronischen Belastung durch die Toxine aus, etwa durch Aflatoxine, die äußerst potente Auslöser von Leberkrebs sind. Die Kontamination von Nahrungsmitteln mit Schimmelpilzen und ihren Stoffwechselprodukten ist daher möglichst zu vermeiden.

Wichtige Mykotoxingruppen sind: Aflatoxine, Ochratoxine, Patulin und Citrinin aus Aspergillus- und Penicillium-Arten; Trichothecene, Fumonisine, Enniatine und Zearalenon aus Fusarium-Arten; Ergotalkaloide aus Claviceps-Arten und Alternariotoxine. Bislang gelten in der EU Höchstwerte für sechs Mykotoxine (Verordnung (EG) Nr. 1881/2006) in Lebensmitteln: Aflatoxine, Ochratoxin A, Patulin, Deoxynivalenol, Zearalenon und Fumonisine. Ausgewählte Höchstwerte zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Mykotoxin-Höchstgehalte in pflanzlichen Produkten nach Verordnung Nr. 1881/2006 des Amtsblatt der Europäischen Union

| Mykotoxin   | Pflanzliches Produkt                | Höchstgehalt [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]           |
|---|-------------------------------------|--|
| <br>Deoxynivalenol                           | Getreide<br>Hartweizen, Hafer, Mais | 1250<br>1750                                       |
| <br>R=OCOCH <sub>3</sub> : T-2<br>R=OH: HT-2 | Getreide                            | In der Diskussion                                  |
| <br>Zearalenon                               | Getreide, außer Mais<br>Mais        | 100<br>200   |
| <br>R=OH: Fumonisin B1<br>R=H: Fumonisin B2  | Mais                                | Summe aus B <sub>1</sub> und B <sub>2</sub> : 2000 |
| <br>Ochratoxin A                             | Getreide                            | 5  |
| <br>Aflatoxin B1                             | Getreide                            | 2  |

| Mykotoxin  | Pflanzliches Produkt | Höchstgehalt [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ] |
|--|----------------------|--|
| <br>Patulin | Äpfel                | 25                                       |

Gängige gaschromatographische Methoden sind für viele Mykotoxine nur bedingt geeignet, da sie nicht genügend flüchtig sind und deshalb vor der Messung umfangreiche Derivatisierungen vorzunehmen sind, um die Zielverbindungen genügend volatil zu machen. Vorteile der Gaschromatographie sind jedoch ihre gute Trennleistung, hohe Empfindlichkeit und geringer Aufwand an Chemikalien (Gase als Trägermaterial). Nachteilig sind oft schlechte Reproduzierbarkeit, die Einschränkung bei der Flüchtigkeit der Moleküle und Nichtlinearität bei Kalibriergeraden.

Hochdruckflüssigchromatographische Verfahren (HPLC) gekoppelt mit UV- und Diodenarraydetektion oder mit Fluoreszenzdetektion sind wohl die am meisten genutzten Standardmethoden zur Mykotoxinanalytik. Moderne Analysengeräte koppeln HPLC mit Massenspektrometern (LC/MS) und können so bis zu 39 Toxine in einem Lauf nachweisen und quantifizieren [1]. Durch Zugabe von vollständig  $^{13}\text{C}$ -markierten Toxinen als interne Standards (Stabilisotopenverdünnungstechnik) können Extrakte auch ohne weitere Aufreinigung direkt gemessen werden [2].

Daneben gibt es noch eine Reihe von Messmethoden, die sich in immunochemische und weitere Methoden untergliedern lassen. Zu den weit verbreiteten Methoden zählen antikörperbasierte Methoden wie ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay), die eine schnelle Abschätzung erlauben, auch wenn die Präzision von HPLC-Methoden nicht erreicht wird. Eine schnelle „Ja/Nein“-Abschätzung von Mykotoxingehalten innerhalb weniger Minuten erlauben auch Teststreifen (Dipstick, Lateral flow test). ELISA-Testsysteme und Teststreifentests werden heute kommerziell in großer Zahl für nahezu alle relevanten Toxine in vielfältiger Matrix angeboten. Auf ausführliche Artikel zur Analytik von Mykotoxinen in Lebensmitteln [3] und zu aktuellen Entwicklungen [4] sei an dieser Stelle hingewiesen.

Gute Übersichten zum Vorkommen relevanter Mykotoxine finden sich unter anderem in den umfangreichen Studien zur Risikobewertung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit EFSA (European Food Safety Authority). Aktuell liegen Risikobewertungen für Ergotalkaloide, Alternariatoxine, Phomopsine, Zearalenon, Citrinin und T-2/HT-2 vor [5].

Eine Auswertung der EFSA von 20519 Ergebnissen zum Vorkommen von T-2/HT-2 aus den Jahren 2005-2010 in Getreide ergab, dass die Typ-A Trichothecene vorwiegend in Hafer anzutreffen sind. Beim Summenparameter aus T-2 und HT-2 lagen nur 26 % von 1422 Haferproben unterhalb der Bestimmungsgrenze. Einen Befallsgrad von ca. 50 Prozent zeigten Mais ( $n = 1249$ ) und Gerste ( $n = 1412$ ) gefolgt von Weizen ( $n = 4738$ ) der zu 77 % Toxin frei war. Im Reis ( $n = 43$ ) konnten nur bei 5 % der Proben die Typ-A Trichothecene nachgewiesen werden, bei den sonstigen Getreidearten ( $n = 533$ ) lag der Befallsgrad bei 20 %. Die 95er Perzentile lagen dabei beim Hafer bei  $981 \mu\text{g}/\text{kg}$  mit einem Maximalwert von  $8399 \mu\text{g}/\text{kg}$  auf recht hohem Niveau. Bei Weizen lagen die Werte deutlich niedriger bei  $50 \mu\text{g}/\text{kg}$  (95er) und  $1165 \mu\text{g}/\text{kg}$  (Maximum). Gerste (95er Perzentil bei  $112 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) und Mais (95er Perzentil bei  $95 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) sind in etwa gleich stark kontaminiert und weisen ähnliche Maximalwerte auf (Gerste:  $839 \mu\text{g}/\text{kg}$ , Mais:  $750 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) [6].

## 2 Material und Methoden

An der LfL wird das Fusarientoxin Deoxynivalenol, ein Typ-B Trichothecen routinemäßig in Getreide bestimmt. DON wird hauptsächlich von *Fusarium graminearum* und *F. culmorum* gebildet. Es ist als Indikatortoxin für Fusariumbefall weit verbreitet, da es neben seinen toxischen Eigenschaften auch einen Virulenzfaktor von *F. graminearum* darstellt. Der Großteil der durchgeführten Analysen entstammt dem Versuchsprogramm der LfL und dient den Instituten (IPZ, IPS) zur Bewertung von Sortenresistenzen gegen Fusariuminfektionen und der Untersuchung der Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln. Daneben werden alljährlich repräsentative Weizen- und Roggenproben aus ganz Bayern analysiert, um einen Überblick über die Situation der Ährenfusariosen zu erhalten.

Die DON-Analytik nutzt die chemischen Eigenschaften von Typ-B Trichothecenen zur selektiven und sensitiven Bestimmung. Typ-B Trichothecene spalten unter basischen Bedingungen bei 115 °C Formaldehyd ab [7], das in einer chemischen Reaktion (Hantzsche Dihydropyridinsynthese) abgefangen wird und aufgrund seiner fluoreszierenden Eigenschaften leicht detektiert werden kann [8]. Der apparative Messaufbau besteht aus einer Hochdruck-flüssigchromatographieanlage mit Nachsäulenderivatisierung und Fluoreszenzdetektor. Der resultierende Messbereich erstreckt sich von 40 µg/kg bis 2000 µg/kg DON in Getreide [9].

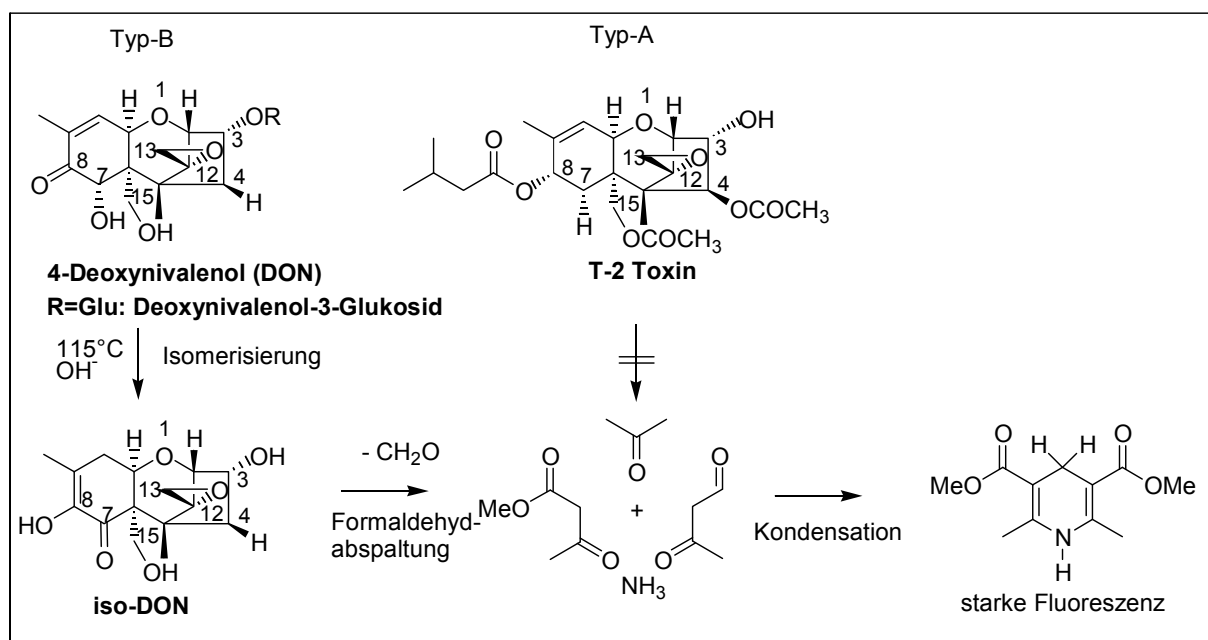


Abb. 1: Chemie der DON-Analytik

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Langjährige Erfahrungen mit der Reaktionsdetektion zeigen, dass die Methode für die Bestimmung von DON-Konzentrationen als robuste und selektive Nachweismethode genaue Ergebnisse liefert. Dies wird auch durch zahlreiche Teilnahmen an Laborvergleichsuntersuchungen bestätigt, bei der regelmäßig sehr gute Ergebnisse erreicht werden. Der Nachteil der Methode liegt darin, dass Typ-A Trichothecene wie T-2 Toxin, die deutlich toxischer sind als die Typ-B Trichothecene, nicht erfasst werden können, da sie kein



Formaldehyd abspalten. Die Methode lässt sich aber dahingehend erweitern, dass auch sogenannte maskierte Toxine wie DON-3-Glukosid [10] erfasst werden können. Maskierte Toxine stellen in der Regel weniger aktive Derivate der ursprünglichen Toxine dar, die als Entgiftungsprodukte in der Pflanze eingelagert werden. Sie können aber durch enzymatische, thermische oder hydrolytische Reaktionen wieder freigesetzt werden und tragen somit zusätzlich zum Gehalt an Mykotoxinen in pflanzlichen Erzeugnissen bei. Maskierte Toxine sind bislang wenig untersucht, da einerseits kommerzielle Standards fehlen und andererseits erst eine geringe Zahl aufgeklärt worden ist [11]. Orientierende Untersuchungen zum Vorkommen von DON-3-Glukosid in einzelnen Fusariumkörnern zeigten, dass zusätzlich bis zu 11 % DON-3-Glukosid vom DON-Gehalt enthalten sein kann.

Bei den Untersuchungen von Getreideproben aus Bayern fällt der Mittelwert der DON-Konzentration des Jahres 2012 im Winterweizen auf. Während die vorangegangenen Jahre durch sehr geringe Belastungen geprägt waren, stieg der arithmetische Mittelwert des DON-Gehaltes 2012 auf 651  $\mu\text{g}/\text{kg}$  gegenüber 139  $\mu\text{g}/\text{kg}$  in 2011. Waren 2011 lediglich 4 Proben (2,3 %) im Bereich des EU-Rohwarengrenzwertes von 1250  $\mu\text{g}/\text{kg}$  zu finden, so wiesen 2012 10 % der untersuchten Proben eine DON-Belastung auf, die über diesem Wert lagen.

Der Anstieg der Toxinkonzentration ist auch in der Verteilung der Toxine gut zu erkennen, da der prozentuale Anteil der beiden unteren Gehaltsklassen bis 40  $\mu\text{g}/\text{kg}$  und 41-200  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nur bei 41 % der untersuchten Proben lag, während in der Ernte 2011 82 % der Proben in diese gering belasteten Klassen fielen.

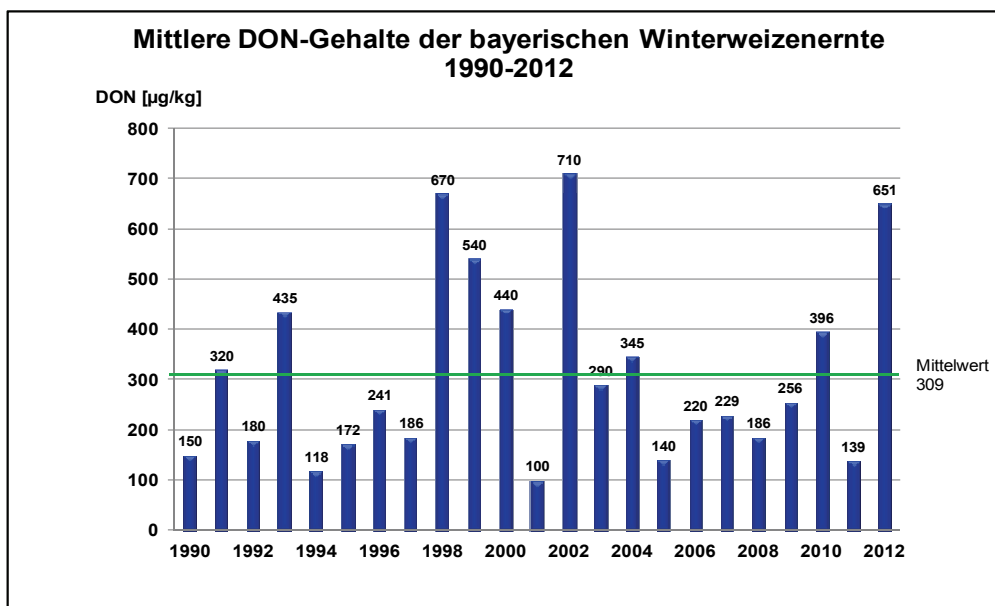


Abb. 2: Mittelwerte der DON-Gehalte in Winterweizen

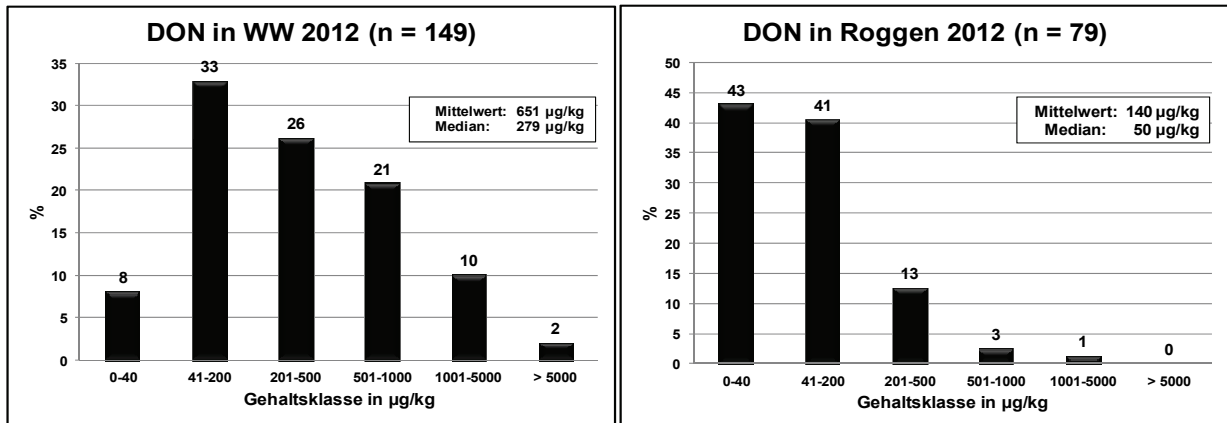


Abb. 3: Toxinverteilung in Gehaltsklassen bayerischer Weizen- und Roggenproben 2012

In die Gehaltsklassen von 200-500 µg/kg fielen 26 % (10 % 2011). Im Bereich von 501-1000 µg/kg erhöhte sich der Anteil um das Vierfache auf 21 % und in der Klasse von 1001-5000 µg/kg wurden fünfmal so viel Proben gefunden wie im Jahr 2011. Auch wurden drei hochbelastete Proben mit einem DON-Gehalt von über 5000 µg/kg gemessen. Wie beim Weizen sind auch die DON-Werte des Winterroggens (Mittelwert 2012: 140 µg/kg) verglichen mit dem Vorjahr (Mittelwert 2011: 67 µg/kg) gestiegen, wenngleich auf deutlich niedrigerem Niveau. Insbesondere ist eine Zunahme in den Gehaltsklasse von 40-200 und 201-500 µg/kg zu verzeichnen. 2011 wurden keine Proben jenseits von 500 µg/kg gefunden, 2012 lagen 4 % der untersuchten Proben über 500 µg/kg. Im Maximum war eine Probe mit 2,7 mg/kg belastet. Die ausgesprochen feuchte Witterung mit vielerorts anhaltenden Niederschlägen zum Zeitpunkt der Getreideblüte sorgte für optimale Bedingungen für die Pilzinfektionen. So ist für den Anstieg der Toxinwerte weitgehend das Wetter verantwortlich zu machen. Damit stießen die bekannten vorbeugenden Maßnahmen zur Vermeidung einer Kontamination (Vorfrucht, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Pflanzenschutzmittel zur Blüte) an ihre Grenzen.

## 4 Schlussfolgerungen

Das an der LfL angewandte Messverfahren zur Bestimmung von Typ-B Trichothecenen in Getreide ist eine robuste und selektive Analysenmethode, mit der sich das für Fusarieninfektionen wichtige Leittoxin DON im relevanten Konzentrationsbereich mit einer Nachweisgrenze von 40 µg/kg bestimmen lässt. Damit konnten in den letzten Jahren verlässliche Daten bereitgestellt werden, die wichtige Ergebnisse in der komplexen Fusariumproblematik, etwa bei der Sortenwahl und dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, lieferten. Die Methode lässt sich leider nicht auf die in Zukunft vermehrt an Bedeutung gewinnenden Typ-A Trichothecene erweitern, was in der unterschiedlichen chemischen Struktur der Mykotoxine begründet liegt. Erste Versuche zur Analytik des bislang wenig untersuchten DON-3-Glukosids an einzelnen Getreidekörnern waren jedoch erfolgreich.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Sulyok, M., Berthiller, F., Krska, R., Schuhmacher, R. (2006): Development and validation of a liquid chromatography/tandem mass spectrometric method for the determination of 39 mycotoxins in wheat and maize, *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20, 2649-2659
- [2] Brodacz, W. (2012): LC/MS-MS-Quantifizierung von Mykotoxinen. *LABO*, 22-25
- [3] Köppen, R., Koch, M., Siegel, D., Merkel, S., Maul, R., Nehls, I. (2010): Determination of mycotoxins in foods: current state of analytical methods and limitations, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 86, 1595-1612
- [4] Shephard, G.S., Berthiller, F., Burdaspal, P.A., Crews, C., Jonker, M. A., Krska, R., MacDonald, S., Malone, R.J., Maragos, C., Sabino, M., Solfrizzo, M., Van Egmond, H.P., Whitaker, T.B. (2012): Developments in mycotoxin analysis: an update for 2010-2011. *World Mycotoxin Journal* 5, 3-30
- [5] <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/mycotoxins.htm>
- [6] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on risks for animal and public health related to the presence of T-2 and HT-2 toxin in food and feed. *EFSA Journal* 2011;9(12):2481. [187 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2011.2481. Available online: [www.efsa.europa.eu/efsajournal](http://www.efsa.europa.eu/efsajournal)
- [7] Young, J.C., Blackwell, B.A., ApSimon, J.W. (1986): Alkaline Degradation of the Mycotoxin 4-Deoxynivalenol. *Tetrahedron Letters* Vol. 27, No. 9, 1019-1022
- [8] Lepschy, J. (2000): Nachweis eines Pilztoxins (Deoxynivalenol) mit HPLC und Nachsäulenderivatisierung. *GIT Laborfachzeitschrift* 3/2000, 275-277
- [9] Sano, A., Matsutani, S., Suzuki, M. Takitani, S. (1987): High-Performance Liquid Chromatographic Method For Determining Trichothecene Mycotoxins By Post-Column Fluorescence Derivatization. *Journal of Chromatography* 410, 427-436
- [10] Sewald, N., Lepschy von Gleissenthall, J., Schuster, M., Müller, G., Aplin, R.T. (1992): Structure elucidation of a plant metabolite of 4-desoxynivalenol. *Tetrahedron: Asymmetry*, Vol. 3, No. 7, 953-960
- [11] Berthiller, F., Crews, C., Dall'Ásta, C., De Daeger, S., Haesaert, G., Karlovsky, P., Oswald, I.P., Seefelder, W., Speijers, G., Stroka, J. (2013): Masked mycotoxins: A review. *Mol. Nutr. Food Res.* 57, 165-186



## Vermeidung von Mykotoxinbildung in Silagen

Johannes Ostertag<sup>(1),\*</sup>, Wolfgang Richter<sup>(1)</sup>, Johann Bauer<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> LfL, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof.-Dürwaechter-Platz 3, 85586 Poing/Grub

<sup>(2)</sup> Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München, Weihenstephaner Berg 3, 85354 Freising

\* Johannes.Ostertag@LfL.bayern.de

### Zusammenfassung

Die Silagebereitung ist in Mitteleuropa derzeit die wichtigste Konservierungsform für Grobfuttermittel zur Wiederkäuerernährung. Silagen sind als vergleichsweise feuchte Futtermittel jedoch einem raschen aeroben Verderb unterworfen, einhergehend mit Nacherwärmung, Schimmelpilzwachstum und Mykotoxinbildung. Der mykologische und mykotoxikologische Status von 584 Gras- und Maissilageproben der sensorischen Qualitäten „unauffällig“, „erwärmt“ und „verpilzt“ wurden in einer aktuellen Untersuchung erhoben. Die bekanntesten Stoffwechselprodukte der häufigsten pilzlichen Kontaminanten *Penicillium*, *Aspergillus* und *Monascus* wurden mit einer hierfür entwickelten HPLC-MS/MS-Methode analysiert. Die sensorische Beurteilung konnte zumeist mittels mykologischen und mykotoxikologischen Analysen bestätigt werden. Verpilztes Probenmaterial, besonders von Maissilagen, wies erwartungsgemäß die höchsten Keimzahlen und Mykotoxingehalte auf, während in unauffälligem Material nur selten Schimmelpilze und deren Mykotoxine gefunden wurden. Eine Mittelstellung nahmen erwärmte Silageproben ein, wobei bei Grassilagen *M. ruber* und *A. fumigatus* und bei Maissilagen *A. fumigatus* sowie deren Stoffwechselprodukte auffällig häufig nachzuweisen waren. Bei der Vermeidung von Mykotoxinbildung in Silagen gilt es somit bereits der Nacherwärmung im Silostock mit den zur Verfügung stehenden Managementmaßnahmen entgegenzuwirken.

### Summary

Silage making is currently the most important form of fodder preservation for the feeding of ruminants. But the high moisture content of silages enables a fast aerobic deterioration after opening the silo. Signs of deterioration are reheating and molding, the latter proven to be linked to post fermentative mycotoxin production. To get more information about the toxicological impact of reheating and molding, 584 grass and maize silage samples were collected and assigned to the sensory quality stages “inconspicuous”, “reheated” and “molded”. The most common mycotoxins of frequent silage contaminating molds of the genera *Penicillium*, *Aspergillus* and *Monascus* were analyzed using a separately developed HPLC-MS/MS method. The sensory evaluation of silages were mostly confirmed by mycological and mycotoxicological methods. Molded material, especially from maize silages, showed the highest germ counts and mycotoxin contents, while inconspicuous silages were free of molds or detectable mycotoxin concentrations in most cases. Reheated silages take a medial position. Reheated grass silages were noticeable numerous contaminated by

*M. ruber*, *A. fumigatus* and their toxic metabolites, reheated maize silages showed partly very high concentrations of *A. fumigatus* metabolites, consistent with the specific germ counts of the samples. Therefore, avoidance of post fermentative mycotoxin production in silages means avoidance of reheating with all the available actions of silo management.

## 1 Einleitung und Problemstellung

Die erfolgreiche, verlustarme Konservierung von Futtermitteln ist von je her eine Herausforderung für tierhaltende Betriebe. Neben der Vermeidung von offensichtlichem Verderb und Futtermitteln spielen in der Tierhaltung mögliche Effekte des Futters auf die Futteraufnahme, Tiergesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere eine wichtige Rolle. In der Vergangenheit wurden bereits negative Beeinträchtigungen von Nutztieren bei mangelhafter Futterhygiene beschrieben. Dabei handelt es sich neben akuten Vergiftungserscheinungen auch um generell erhöhte Empfänglichkeiten gegenüber Infektionskrankheiten sowie verminderte Leistungen. Diese Symptome sind teilweise auf giftige Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen, sogenannte Mykotoxine, zurückzuführen [1]. Über den direkten Einfluss auf die Tiergesundheit hinaus wird auch der Verbleib der gebildeten Mykotoxine in der Nahrungskette diskutiert [2].

Die vor allem beim Getreide bedeutungsvollen Mykotoxine Deoxynivalenol, Zearalenon, T-2 und HT-2 werden von *Fusarium*-Arten bereits auf dem Feld gebildet und können auch in Silagen nachgewiesen werden. Dies jedoch nur selten in Konzentrationen, welche nach aktuellem Kenntnisstand in der Wiederkäuerfütterung von Relevanz sind [3], [4]. Eine postfermentative Mykotoxinbildung durch Fusarien ist vergleichsweise unwahrscheinlich, da diese in Silage nicht lange überdauern [5], [6]. Fumonisine sind nach aktuellem Kenntnisstand ähnlich wie Aflatoxine in Silagen bayerischen Ursprungs von geringer Bedeutung. Dies ist mit den Klimaansprüchen des jeweiligen Produzenten bzw. dessen Sekundärstoffwechsels zu erklären.

Mykologische Untersuchungen (Tab. 1) von Silagen zeigten, dass in süddeutschen Gärfuttern besonders mit dem Vorkommen von Schimmelpilzen der Gattungen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Monascus* und Vertretern der Familie der *Mucoraceae* gerechnet werden muss. Hierauf aufbauend befassten sich umfangreiche Arbeiten mit dem Gehalt an entsprechenden pilzlichen Stoffwechselprodukten in unauffälligen und teilweise auch verpilzten (worst case-Szenario) Silageproben [7], [8], [9]. Es wurde gezeigt, dass aus verdächtigen Silagen isolierte Schimmelpilze Mykotoxine produzieren [1], verpilzte Silagen beachtliche Gehalte an Mykotoxinen wie Roquefortin C, Mykophenolsäure oder Monacolin K enthalten können [3], [4], [6], [7], [8], [9], diese aber nicht unbedingt zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung von Wiederkäuern führen müssen [10].

Da aus der landwirtschaftlichen und tierärztlichen Praxis immer wieder Fälle berichtet werden, welche einen Zusammenhang von herabgesetzter Tiergesundheit und schlechter Silagequalität (Nacherwärmung, Schimmelwachstum) vermuten lassen, wurde in einem mehrjährigen Projekt der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE), in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München (TUM), der mykologische und mykotoxikologische Status von „normalen“, „erwärmten“ und „verpilzten“ Gras- und Maissilagen erhoben. Dies erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der Stoffwechselprodukte von *Aspergillus fumigatus*, welchem als Produzent einer Vielzahl potentiell giftiger Stoffwechselprodukte und vergleichsweise thermotoleranten Schimmelpilz eine besondere Rolle bei der

Nacherwärmung von Silagen zukommen könnte. Die Ergebnisse fügten sich in die Aktivitäten des Arbeitsschwerpunkts Mykotoxine der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ein, welcher unter anderem eingerichtet wurde, um interdisziplinär Fragen zur Belastung und Gefährdung von Futtermitteln mit Mykotoxinen bearbeiten und beurteilen zu können.

Tab. 1: Mykologische Befunde bei Untersuchungen von siliertem pflanzlichen Material verschiedener geographischer Herkunft

| Silage                    |                   |              | Schimmelpilze [%]          |                            |                         |                              | Quelle |
|---------------------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|--------|
| Land/<br>Region           | Art               | Qualität     | <i>Penicillium</i><br>spp. | <i>Aspergillus</i><br>spp. | <i>Monascus</i><br>spp. | <i>Mucaracea</i><br><i>e</i> |        |
| SüdD                      | GS<br>MS          | k.P.         | 39,2                       | 7,3                        | 1,5                     | 15,8                         | [11]   |
| SüdD                      | MS<br>CCM         | P.           | 88,9                       | 5,6                        | 11,1                    |                              | [12]   |
| SüdD                      | MS<br>GS          | k.P.         | 27                         |                            |                         |                              | [7]    |
| SüdD                      | MS<br>GS          | P.<br>+ k.P. | 52,8                       | 15                         | 18,5                    | 24,9                         | [9]    |
| NordD                     | MS<br>GS          | P.<br>+ k.P. | 89,4                       | 3                          | 3                       | 16,7                         | [13]   |
| D                         | MS<br>GS          | P.<br>+ k.P. | 38,8                       | 9,3                        | 12,4                    | 36,4                         | [14]   |
| F                         | MS                | k.P.         | 76                         | 21                         | 31                      | 96                           | [5]    |
| F                         | MS<br>GS<br>Hirse |              | 88                         | 47                         | 35                      | 82                           | [15]   |
| DK                        | MS                | *            | 100                        | 60                         | 25                      | 80                           | [6]    |
| EG                        | MS                |              | 100                        | 100                        |                         |                              | [16]   |
| AR                        | MS                |              | ~ 33                       | 78                         |                         | ~ 50                         | [17]   |
| dominante Schimmelpilzart |                   |              | <i>P. roqueforti</i>       | <i>A. fumigatus</i>        | <i>M. purpureus</i>     | <i>Mucor hiemalis</i>        |        |

GS = Grassilage; MS = Maissilage; CCM = Corn Cob Mix; ZRPS = Zuckerrüben-Pressschnittel; k.P. = kein Pilzbefall; P. = Pilzbefall

## 2 Material und Methoden

Ziel der Untersuchung war es, ein möglichst repräsentatives Bild über den hygienischen Zustand bayerischer Silagen zu erhalten. Für die mykologischen und mykotoxikologischen Untersuchungen wurden vom ITE insgesamt 584 Silageproben aus 3 Regionen, verteilt über 3 Probenahmezeiträume in 2 Jahren, zur Verfügung gestellt. Während die vakuumierten und kühl gelagerten Silageproben schnellstmöglich (innerhalb von 2 Wochen) der mykologischen Untersuchung unterzogen wurden, erfolgte die mykotoxikologische Analyse anhand tiefgekühlt gelagerter Teilproben zeitverzögert.

### *Mykologische Untersuchungen*

Für die mykologischen Untersuchungen wurde das 1974 von Gedek beschriebene und auch in vorausgehenden Arbeiten verwendete Oberflächen-Kulturspatelverfahren verwendet [11], [9]. Als Nährboden dienten Sabouraud- und DG18-Agar, wobei Platten mit bis zu 500 Kolonien ausgezählt wurden. Die qualitative Differenzierung der einzelnen Schimmelpilze erfolgte anhand koloniemorphologischer und mikroskopischer Merkmale. Sprosspilze wurden nicht genauer bestimmt und unter dem Sammelbegriff Hefen zusammengefasst.

### *Mykotoxikologische Untersuchungen*

Während die Analytik giftiger *Fusarium*-Stoffwechselprodukte vergleichsweise gut etabliert ist, fehlen für den Nachweis vieler Mykotoxine anderer Herkunft die Möglichkeiten und erforderlichen Informationen. Zum einen sind die Reinsubstanzen (externe Standards) selbst häufig kommerziell nicht verfügbar, zum anderen mangelt es an validen Analysemethoden. Für den Nachweis der bekanntesten Stoffwechselprodukte der Schimmelpilzgattungen *Aspergillus*, *Penicillium* und *Monascus* wurde daher in einem ersten Schritt der Extrakt von Schimmelpilzkulturen mit nasschemischen und chromatographischen Methoden bis zur Gewinnung kristallinen Referenzmaterials aufgereinigt. Die Identität der Kristalle wurde anhand massenspektrometrischer Untersuchungen bestätigt.

Unter Verwendung der gewonnenen Reinsubstanzen wurde eine HPLC-MS/MS-Methode zum simultanen Nachweis von über 30 Stoffwechselprodukten entwickelt, deren Ursprung im Wachstum der oben genannten Schimmelpilzgattungen in Silage vermutet wird [18]. Die Quantifizierung erfolgte soweit möglich anhand externer Standards bekannter Konzentrationsstufen.

## **3 Ergebnisse und Diskussion**

### *Mykologische Untersuchungen*

Die Ergebnisse der mykologischen Untersuchungen verdeutlichen die Wichtigkeit der sensorischen Beurteilung von Futtermitteln. Während die sensorisch unauffälligen Silagen grundsätzlich von hoher hygienischer Güte waren, wiesen erwärmte und besonders die sichtlich verschimmelten Proben beachtliche Keimgehalte auf. Hervorzuheben ist die Verteilung von *A. fumigatus* bezogen auf die Silageart, sowie die sensorische Qualität bei der Probenahme (Tab. 2). Besonders in erwärmten Maissilagen war der Schimmelpilz auffällig häufig und in hoher Anzahl nachzuweisen. Dies bestärkt einerseits die Vermutung, dass *A. fumigatus* aufgrund seiner thermotoleranten Eigenschaften eine besondere Rolle im Nacherwärmungsgeschehen von Maissilagen spielen kann und gibt andererseits Anlass, die Bedeutung der Erwärmung von Futtermitteln für dessen hygienische Qualität erneut zu prüfen.



Tab. 2: Vorkommen von *Aspergillus fumigatus* in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher sensorischer Qualitäten

| Silagenart       | Qualität      | Probenzahl<br>n | <i>A. fumigatus</i><br>n (%) | max. KBE <sub>log</sub> /g |
|------------------|---------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|
| Grassilage       | normal        | 126             | 4 (3,2)                      | 2,30                       |
|                  | erwärmt       | 49              | 4 (8,2)                      | 3,90                       |
|                  | verpilzt      | 105             | 23 (21,9)                    | 5,30                       |
|                  | <i>gesamt</i> | <b>280</b>      | <b>31 (11,1)</b>             | <b>5,30</b>                |
| Maissilage       | normal        | 118             | 6 (5,1)                      | 3,00                       |
|                  | erwärmt       | 78              | 19 (24,4)                    | 6,54                       |
|                  | verpilzt      | 108             | 35 (32,4)                    | 8,30                       |
|                  | <i>gesamt</i> | <b>304</b>      | <b>60 (19,7)</b>             | <b>8,30</b>                |
| <b>Insgesamt</b> |               | <b>584</b>      | <b>91 (15,6)</b>             | <b>8,30</b>                |

### Mykotoxikologische Untersuchungen

Die Ergebnisse der mykotoxikologischen Analyse stehen in einem nachvollziehbaren Zusammenhang mit jenen der mykologischen Untersuchung. Die besondere Rolle von *A. fumigatus* im Zuge der Nacherwärmung von Silagen wird besonders bei Maissilage ersichtlich. Während Stoffwechselprodukte anderer typischer „Silagepilze“ vorwiegend in verpilzten Bereichen zu finden waren, erreichten *A. fumigatus*-Stoffwechselprodukte auch in erwärmten, sensorisch nicht verschimmelten Bereichen des Silos beachtliche Konzentrationen (Tab. 3). Die Bedeutung der ermittelten Mykotoxingehalte für die Tiergesundheit kann aufgrund fehlender Erkenntnisse zur Wirkung beim Tier nicht abschließend geklärt werden.

Tab. 3: Vorkommen von *A. fumigatus*-Stoffwechselprodukten und anderen Mykotoxinen in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten (ausgewählte Ergebnisse)

| Toxin           | Silagequalität |                     |         |                     |          |                     |
|-----------------|----------------|---------------------|---------|---------------------|----------|---------------------|
|                 | normal         |                     | erwärmt |                     | verpilzt |                     |
|                 | % pos.         | Bereich<br>(µg/kg*) | % pos.  | Bereich<br>(µg/kg*) | % pos.   | Bereich<br>(µg/kg*) |
| Grassilage      |                |                     |         |                     |          |                     |
| Gliotoxin       | 4,0            | 5 – 26              | 2,0     | 35                  | 16,2     | 2 – 103             |
| Fumagillin      | 0,8            | 9                   | 2,0     | 722                 | 1,9      | 19 – 24             |
| Verruculogen    | 12,7           | 1 – 119             | 20,4    | 3 – 358             | 18,1     | 1 – 532             |
| Fumitremorgen B | 6,3            | 5 – 130             | 14,3    | 9 – 280             | 8,6      | 12 – 514            |
| TR 2-Toxin      | 1,6            | 7 – 19              | 4,1     | 47 – 74             | 3,8      | 14 – 98             |
| Trypacidin      | 29,4           | 6 – 316             | 40,8    | 9 – 13200           | 32,4     | 8 – 469             |
| Fumigaclavin C  | 5,6            | 7 – 1500            | 16,3    | 7 – 304             | 21,9     | 4 – 62              |
| Mykophenolsäure | 3,2            | 17 – 1020           | 4,1     | 30 – 36             | 50,5     | 7 – 21400           |

|                   |      |            |      |           |      |            |
|-------------------|------|------------|------|-----------|------|------------|
| Roquefortin C     | 3,2  | 10 – 482   | 4,1  | 16 – 209  | 41,9 | 4 – 12900  |
| Monacolin K       | 2,4  | 114 – 1010 | 12,2 | 60 – 2190 | 29,5 | 74 – 33700 |
| <b>Maissilage</b> |      |            |      |           |      |            |
| Gliotoxin         | 2,5  | 3 – 10     | 5,1  | 4 – 41    | 13,9 | 2 – 513    |
| Fumagillin        | 0,8  | 11         | 6,4  | 1 – 295   | 15,7 | 3 – 1740   |
| Verruculogen      | 5,9  | 1 – 20     | 11,5 | 1 – 604   | 13,9 | 1 – 247    |
| Fumitremorgen B   | 7,6  | 12 – 38    | 12,8 | 5 – 1540  | 13,9 | 2 – 2080   |
| TR 2-Toxin        | 0,8  | 19         | 10,3 | 26 – 390  | 13,9 | 7 – 685    |
| Trypacidin        | 35,6 | 2 – 60     | 28,2 | 1 – 277   | 45,4 | 4 – 3520   |
| Fumigaclavin C    | 3,4  | 22 – 37    | 21,8 | 6 – 198   | 46,3 | 3 – 18793  |
| Mykophenolsäure   | 3,4  | 2 – 263    | 6,4  | 5 – 4330  | 63,0 | 9 – 10200  |
| Roquefortin C     | 5,1  | 3 – 2350   | 9,0  | 1 – 3280  | 71,3 | 5 – 10600  |
| Monacolin K       | 6,8  | 14 – 449   | 2,6  | 14 – 58   | 14,8 | 28 – 54600 |

\* bezogen auf kg Frischmasse

Allerdings muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass für Fumagillin bereits eine kontrazeptive Wirkung am Rhesusaffen nachgewiesen wurde [19], Fumigaclavin C und Mykophenolsäure immunsuppressive Wirkungen aufweisen und Trypacidin sowie Monacolin K im Verdacht stehen, die Pansenfunktion bzw. Herdenfruchtbarkeit negativ zu beeinträchtigen [20], [21]. Der Nachweis von Gliotoxin, einem starken Immunsuppressivum, welches in dringendem Verdacht steht eine Infektion mit *A. fumigatus* zu begünstigen [22], kann nicht ausreichend beurteilt, eine gesundheitsfördernde Wirkung jedoch ausgeschlossen werden.

Bei der Vermeidung der Mykotoxinbildung in Silagen kommt somit der Vermeidung von Nacherwärmung eine entscheidende Rolle zu. Unter Nacherwärmung versteht man hierbei die durch mikrobielle Stoffwechselaktivität verursachte Erhöhung der Silagetemperatur um mehr als 5 Kelvin gegenüber einem zweiten, unauffälligen Messpunkt. Um diese Temperaturerhöhung zu verhindern, gilt es zunächst den Einfluss von Sauerstoff auf die Silagen möglichst lange auszuschließen. Das kann durch hohe Verdichtung des Silierguts bei der Einlagerung und der Silogeometrie angepasste Entnahmemengen (Vorschub) erreicht werden. Außerdem kommt dem Silocontrolling zum Erkennen möglicher Hygieneprobleme eine entscheidende Rolle zu [23].

Durch den Zusatz von geprüften Siliermitteln kann die aerobe Stabilität (Kennzahl für die Zeit bis zur Nacherwärmung) von Silagen erhöht werden. Dies ist sowohl durch den Zusatz heterofermentativer Milchsäurebakterienpräparate wie auch chemischer Additive wie Propion-, Benzoe- oder Sorbinsäure bzw. deren Salze möglich. Zur weiteren Information wird auf die abgestimmten Empfehlungen der Beratung verwiesen [24].

## 4 Literaturverzeichnis

- [1] Cole, R.J., Kirksey, J.W., Dorner, J.W., Wilson, D.M., Johnson, J., Bedell, D., Springer, J.P., Chexal, K.K., Clardy, J., Cox, R.H. (1977): Mycotoxins produced by *Aspergillus fumigatus* isolated from silage. *Ann. Nutr. Aliment.*, 31, 685-691
- [2] Fink-Gremmels, J. (2008): Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: A review. *Food Add. Contam. A*, 25, 172-180
- [3] Driehuis, F., Spanjer, M.C., Scholten, J.M., Te Giffel, M.C. (2008): Occurrence of mycotoxins in maize, grass and wheat silage for dairy cattle in the Netherlands. *Food Add. Contam. B*, 1 (1) 41-50
- [4] Rasmussen, R.R., Storm, I.M.L.D., Rasmussen, P.H., Smedsgaard, J., Nielsen, K.F. (2010): Multi-mycotoxin analysis of maize silage by LC-MS/MS. *Anal. Bioanal. Chem.*, 397, 765-776
- [5] Pelhate, J. (1977): Maize silage: incidence of moulds during conservation. *Folia veterinaria Latina*, 7, 1-16
- [6] Storm, I.M.L., Kirstensen, N.B., Raun, B.M.L., Smedsgaard, J., Thrane, U. (2010): Dynamics in the microbiology of maize silage during whole-season storage. *J. Appl. Microbiol.*, 109, 1017-1026
- [7] Armbruster, G. (1994): Futtermittelhygienische Untersuchungen von Silagen: Nachweis und Vorkommen des Mykotoxins Roquefortin. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München
- [8] Tüller, G. (1994): Bildung von *Aspergillus fumigatus*-Toxinen bei Lagerung von Maissilage. Dissertation, Technische Universität München
- [9] Schneewis, I. (2000): Futtermittelhygienische Untersuchungen von Silagen: Nachweis und Vorkommen von Monacolin, Citrinin und Mycophenolsäure. Dissertation, Technische Universität München
- [10] Tüller, G., Armbruster, G., Wiedenmann, S., Hänichen, T., Schams, D., Bauer, J. (1998): Occurrence of roquefortine in silage - toxicological relevance to sheep. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 80, 246-249
- [11] Gedek, B., Bauer, J., Schreiber, H. (1981): Zur Mykotoxinbildung Silageverderbender Schimmelpilze. *Wien. Tierärztl. Mschr.*, 68 (8/9), 299-301
- [12] Amend, R. (1990): Anhäufung der Mykotoxine Patulin, Penicillinsäure, PR-Toxin und Mycophenolsäure durch Penicillien auf Maissilage und auf halbsynthetischem Medium. Dissertation, Universität Stuttgart-Hohenheim
- [13] Auerbach, H. (1996): Verfahrensgrundlagen zur Senkung des Risikos eines Befalls von Silagen mit *Penicillium roqueforti* und einer Kontamination mit Mykotoxinen dieses Schimmelpilzes. Dissertation, Universität Stuttgart-Hohenheim
- [14] Frevel, H.-J., Engel, G., Teuber, M. (1985): Schimmelpilze in Silage und Rohmilch. *Milchwissenschaften*, 40, 129-132
- [15] Escoula, L., Le Bars, J., Larrieu, G. (1972): Etudes sur la mycoflore des ensilages mycoflore des front de coupe d'ensilages de graminees fourrageres. *Ann. Rech. Veter.*, 3, 469-481

- [16] El-Shanawany, A.A., Mostafa, M.E., Barakat, A. (2005): Fungal populations and mycotoxins in silage in Assiut and Sohag governorates in Egypt, with a special reference to characteristic *Aspergilli* toxins. *Mycopathologia*, 159, 281-289
- [17] González-Pereyra, M.L., Alonso, V.A., Sager, R., Morlaco, M.B., Magnoli, C.E., Astoreca, A.L., Rosa, C.A., Chiacchiera, S.M., Dalcerro, A.M., Cavaglieri, L.R. (2007): Fungi and selected mycotoxins from pre- and postfermented corn silage. *J. Appl. Microbiol.*, 1364-5072
- [18] Ostertag, J. (2010): Nachweis und Vorkommen von *Aspergillus fumigatus*-Toxinen in Gras- und Maissilagen. Dissertation, Technische Universität München
- [19] Lalitkumar, P.G., Sengupta, J., Dhawan, L., Sharma, D.N., Lasley, B.L., Overstreet, J.W., Ghosh, D. (2000): Anti-nidatory effect of vaginally administered fumagillin in the rhesus monkey. *Contraception*, 62, 155-159
- [20] Bauer, J., Meyer, K. (2006): Stoffwechselprodukte von Pilzen in Silagen: Einflüsse auf die Gesundheit von Nutztieren. *Übers. Tierernährg.*, 34, 27-55
- [21] Burke, J.M., Rorie, R.W., Piper, E.L., Jackson, W.G. (2001): Reproductive responses to grazing endophyte-infected tall fescue by postpartum beef cows. *Theriogenology*, 56, 357-369
- [22] Bauer, J., Gareis, M., Bott, A., Gedek, B. 1989: Isolation of a mycotoxin (gliotoxin) from a bovine udder infected with *Aspergillus fumigatus*. *J. Med. Vet. Mycol.*, 27, 45-50
- [23] Richter, W., Zimmermann, N., Abriel, M., Schuster, M., Kölln-Höllrigl, K., Ostertag, J., Meyer, K., Bauer, J., Spiekers, H. 2009: Hygiene bayerischer Silagen: Validierung einer Checkliste zum Controlling am Silo. *LfL Schriftenreihe 9/2009*, 130 Seiten
- [24] DLG 2011: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung. DLG-Verlag Frankfurt a.M.

---

# **Bedeutung der Sortenzüchtung und Sortenwahl für den *Fusarium*-Befall von Winterweizen**

Lorenz Hartl, Ulrike Nickl

LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 6, 85354 Freising

Lorenz.Hartl@LfL.bayern.de

## **Zusammenfassung**

In Jahren mit warmer und feuchter Witterung zur Blüte ist die Infektionsgefahr durch Ährenfusariosen sehr hoch. Die Belastung der Ernte durch das Mykotoxin Deoxynivalenol kann dann bis zur Ablehnung der Partien bei der Vermarktung führen. Die Sortenresistenz gegen Ährenfusariosen ist bei Weizen von entscheidender Bedeutung. Sie übersteigt die Möglichkeiten, die der chemische Pflanzenschutz bietet. Sowohl die Anstrengungen der Züchtung als auch transparent erarbeitete Beratungsaussagen fördern das Bemühen der Marktpartner, um eine gesunde und einwandfreie Erntequalität.

## **Summary**

In years with humid and warm weather conditions at flowering time, *Fusarium* head blight can severely damage wheat and cause contamination with the mycotoxin deoxynivalenol. Host resistance to *Fusarium* head blight is of high importance to control the disease because the effect of genetic resistance exceeds that of fungicides. Resistance breeding and data from the official field trials enhance the efforts of the partners within the chain to secure safe wheat production.

## **1 Einleitung**

Die Problematik des Befalls mit Ährenfusariosen und die daraus resultierende Belastung des Erntegutes mit Mykotoxinen sind in der Praxis schon sehr lange bekannt. Auch in der Vergangenheit wurden anfällige Sorten wie z. B. die 1981 zugelassene Sorte Basalt nach Jahren mit hohem Befall aus der Empfehlung genommen. Seit der Einführung der Mykotoxinhöchstmengen für das Leittoxin Deoxynivalenol (DON) bei Getreide für Lebensmittel (Verordnung EG Nr. 1881/2006) wird von Handel und Mühlen Ware mit erhöhten Werten deklassifiziert. Verschärft wird die Problematik durch den hohen Maisvorfruchtanteil. In Bayern stand 2012 fast die Hälfte des Winterweizens nach dieser Vorfrucht (Abb. 1). Die auf dem Feld verbleibenden und sich nur langsam zersetzenden Maiserntereste stellen das Inokulum für die Infektion des Weizens zur Blüte im Folgejahr dar.

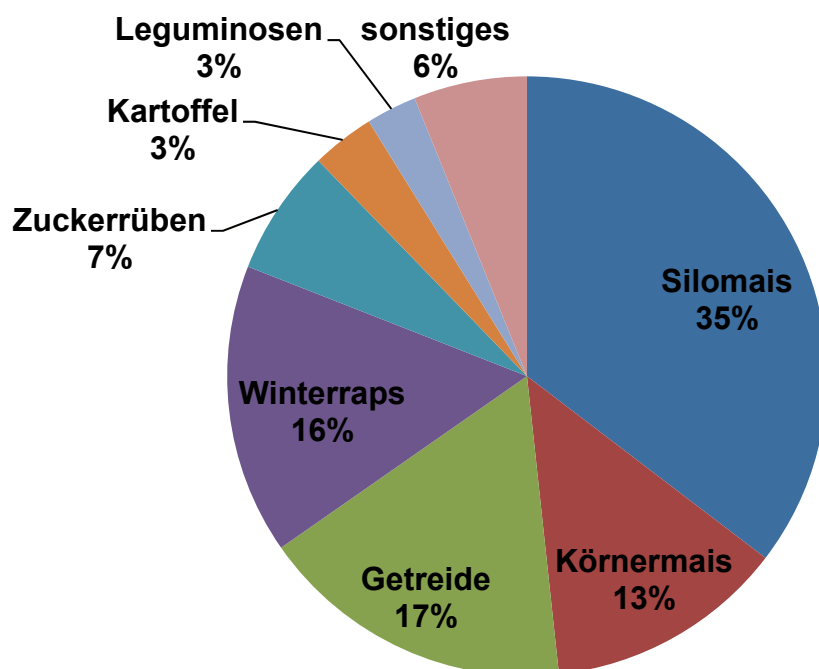


Abb. 1: Vorfrüchte (in %) von Winterweizen in Bayern; Ernte 2012. Quelle: Besondere Ernteterminierung 2012

Eine ausgewogene Fruchtfolge mit guter Stellung des Winterweizens sollte beachtet werden. Aufgrund einzelbetrieblicher Ausrichtung auf Futterbau oder Biogaserzeugung ist oft der Verzicht auf Mais als Vorfrucht nicht möglich. Deshalb müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden, die das Risiko der DON-Belastung minimieren.

Die Vermeidung von Maisstoppelresten auf der Bodenoberfläche durch intensive Zerkleinerung des Maisstrohs und wendende Bodenbearbeitung verringert das Infektionsrisiko erheblich. Zusätzlich senken gezielte Pflanzenschutzmaßnahmen zur Blüte des Weizens das Toxinniveau auf bis zu ein Drittel. Die zeitgerechte Terminierung der Spritzung ist aufgrund der Witterung und teilweise ungleichmäßiger Bestände nicht immer gesichert.

## 2 Züchtung

### 2.1 Methodik der Prüfung auf *Fusarium*-Resistenz

Marktrelevantes Kriterium zur Beurteilung der Qualität der Ernte und der Mykotoxinbelastung ist der DON-Gehalt. Da dieser nur sehr aufwändig und teuer zu bestimmen ist, werden für die Selektion im Zuchtgang Sichtbonituren des *Fusarium*-Befalls der Ähre durchgeführt. Vor Beginn der Abreife sind an den noch grünen Ähren einzelne Blüten und Ährenanteile vergilbt und abgestorben. Der Anteil der optisch befallenen Blüten wird als Bonitürkriterium herangezogen. Zwischen der optischen Bonitur und dem DON-Gehalt konnte mit  $R^2=0,79$  ein hinreichend genauer Zusammenhang nachgewiesen werden (Abb. 2) [2]. Unterschiede der Abreife verschiedener Sorten und Linien müssen dabei aber berücksichtigt werden. Bestimmte Sortentypen wie z.B. Greif weichen stärker von der Regressionsgerade ab. Bei diesen wird der Assimilatstrom in der Ährespindel schnell unterbrochen und die oberen Ährenanteile sterben ohne Kornausbildung

ab. Sie haben trotz einer optisch großen abgestorbenen Fläche, nur einen geringen Anteil von belasteten Körnern im Erntegut. Sowohl für die Bestimmung des DON-Gehalts von Prüfgliedern als auch bei Sichtbonituren, ist eine ausreichend starke und gleichmäßige Infektion der Prüfungskandidaten wichtig. Unter ausreichend feuchten Bedingungen zur Blüte kann dies sehr gut durch die Einstreu von 1-3 Maisstoppeln/m<sup>2</sup> als Inokulum als naturnahe Methode sichergestellt werden. Für Selektionszwecke im Zuchtgarten hat sich das Besprühen der Parzellen zur Vollblüte mit einer Konidiensuspension (1000 l/ha mit  $5 \cdot 10^6$  Konidien/ml) von *Fusarium culmorum* bewährt. Linien, die in ihrem Blühzeitpunkt differenzieren, müssen mehrmals besprüht werden.

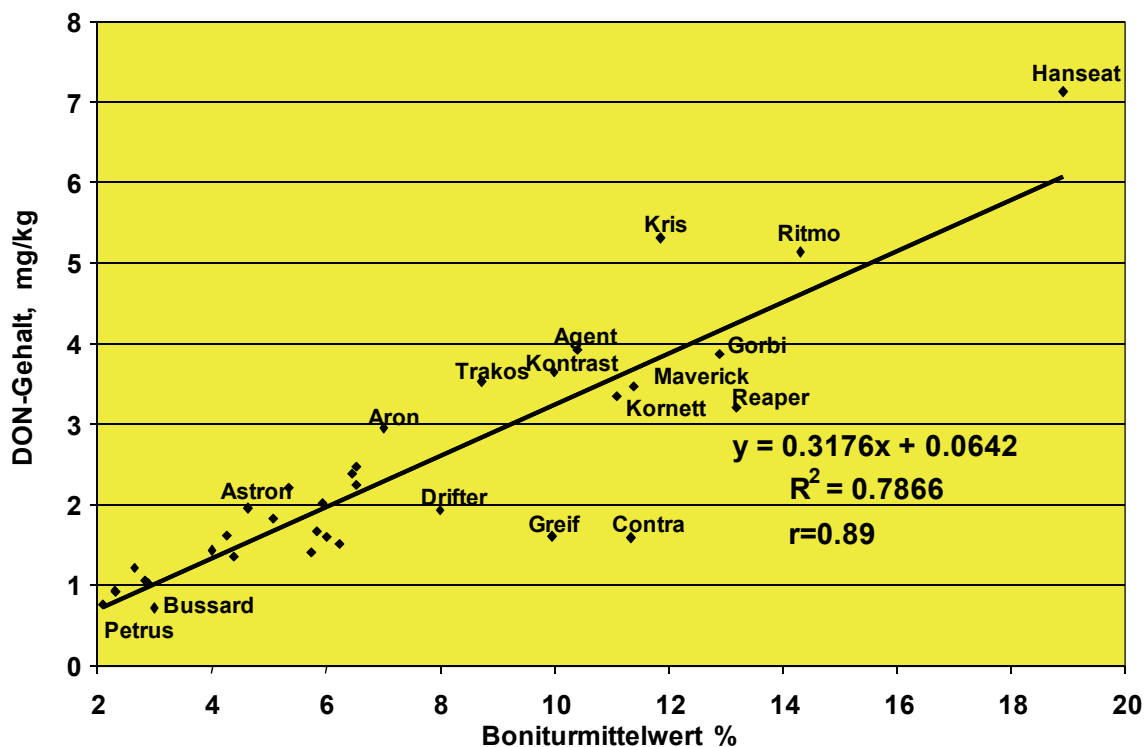


Abb. 2: Regression der DON-Gehalte zum Boniturmittelwert für 35 Sorten. Inokulation durch Einstreu von Maisstoppeln, 1998-2000, 13 Versuche [2].

## 2.2 Nutzung von Resistenzen aus nicht adaptierten Weizenlinien

Die systematische Einkreuzung von Resistenzgenen aus nicht adaptierten genetischen Ressourcen konnte die Resistenz gegen viele Erreger wie z.B. Mehltau und Halbruch verbessern. Mit einer guten Resistenz gegen Ährenfusariosen zeichnen sich besonders asiatische oder brasilianische Linien aus. Die chinesischen Sorten Sumai 3 oder Nobeokabozu bleiben selbst nach Inokulation mit einer Konidiensuspension nahezu befallsfrei (Abb. 3). Nach Introgression in europäischen Sommerweizen zeigte sich, dass die Resistenzgene *Fhb1* auf Chromosom 3B und *Fhb5* auf Chromosom 5A fast 60% der phänotypischen Varianz nach Einzelährcheninokulation erklären [3][4].

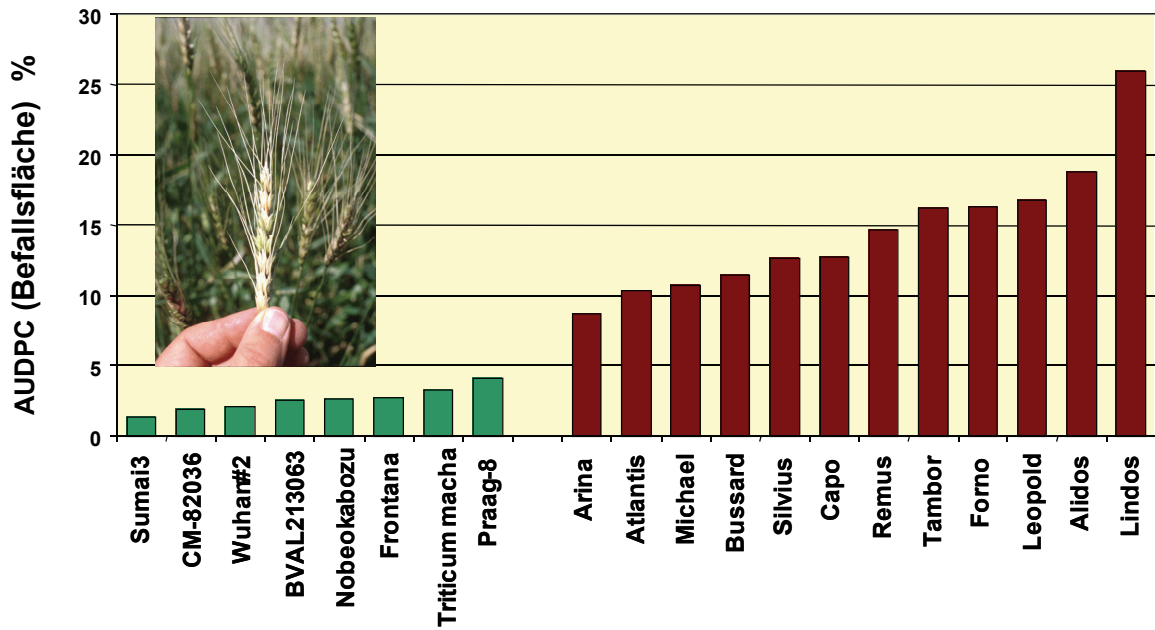


Abb. 3: Fusarium-Befall von Sorten und Linien nach künstlicher Inokulation. Bürstmayr, 1999, IFA, Tulln.

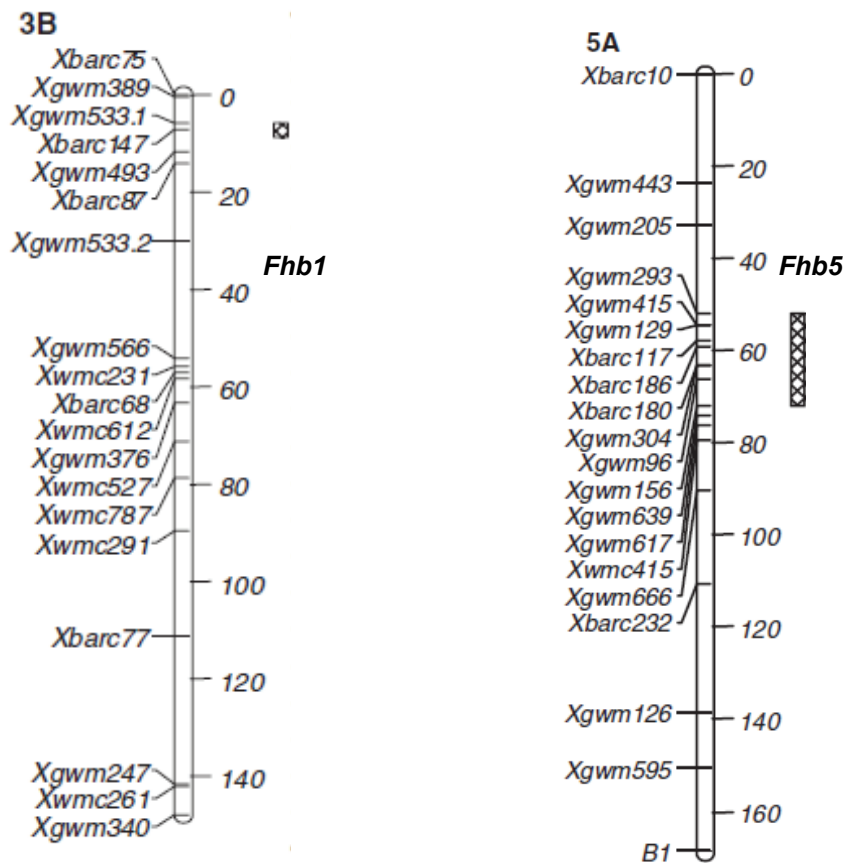


Abb. 4: Kopplungskarte der Chromosomen 3B und 5A mit den Resistenzgenorten und den gekoppelten molekularen Markern [5] Anmerkung: evtl. die Abb. 4 verkleinern, um Platz zu sparen – Beiträge sollten inkl. Literatur nicht länger als 7 Seiten sein



Abbildung 4 zeigt Ausschnitte aus dem Weizengenom mit den beiden Resistenzgenen und molekularen Markern, die mit dem Resistenzgen eng gekoppelt sind. Rückkreuzungsnachkommenschaften, die markergestützt auf die hier gekennzeichneten Resistenzgene selektiert wurden, sind resistenter gegen Ährenfusariosen. Durch intensive Rückkreuzungsschritte unter Anwendung von molekularen Markern wurde versucht, das Genomsegment mit dem Resistenzgen so zu verkleinern, dass keine unerwünschten Eigenschaften mitvererbt werden. Zwischen den Rückkreuzungslinien konnte kein systematisch negativer Effekt des Resistenzgens auf den Ertrag nachgewiesen werden [4][7]. Dennoch sind bisher noch keine Sorten mit Resistenz aus dieser Quelle in der Zulassung. Solange das Resistenzgen selbst und die benachbarte Region noch nicht kloniert und die Funktion des Resistenzgens näher bestimmt ist, bleibt es fraglich, ob sich auf Basis dieses Zuchtmaterials leistungsfähige Sorten entwickeln lassen. Bei dem Resistenzgen Pch1 gegen den Halmbrucherreger ist dies nach fast zwei Jahrzehnten intensiver Arbeit erfolgreich gelungen.

### **2.3 Nutzung von Resistenzen aus adaptierten Weizenlinien**

Innerhalb der an unsere Anbaubedingungen adaptierten Sorten ist auch eine erhebliche Variabilität in Bezug auf die Resistenz gegen Ährenfusariosen vorhanden. Die Analyse der Vererbung der Resistenz in spaltenden Populationen ergab einige additiv wirkende Resistenzgene im benutzten Sortenmaterial (Abb. 5, 3) [8]. Einen starken negativen Einfluss auf die Resistenz übt das Verzweigungsgen Rht-D1 aus, das jetzt in der überwiegenden Zahl der deutschen Sorten enthalten ist. Durch Kombination mit mehreren positiv wirkenden Genorten und intensive Selektion ist es möglich, dennoch Sorten mit guter *Fusarium*-Resistenz zu züchten.

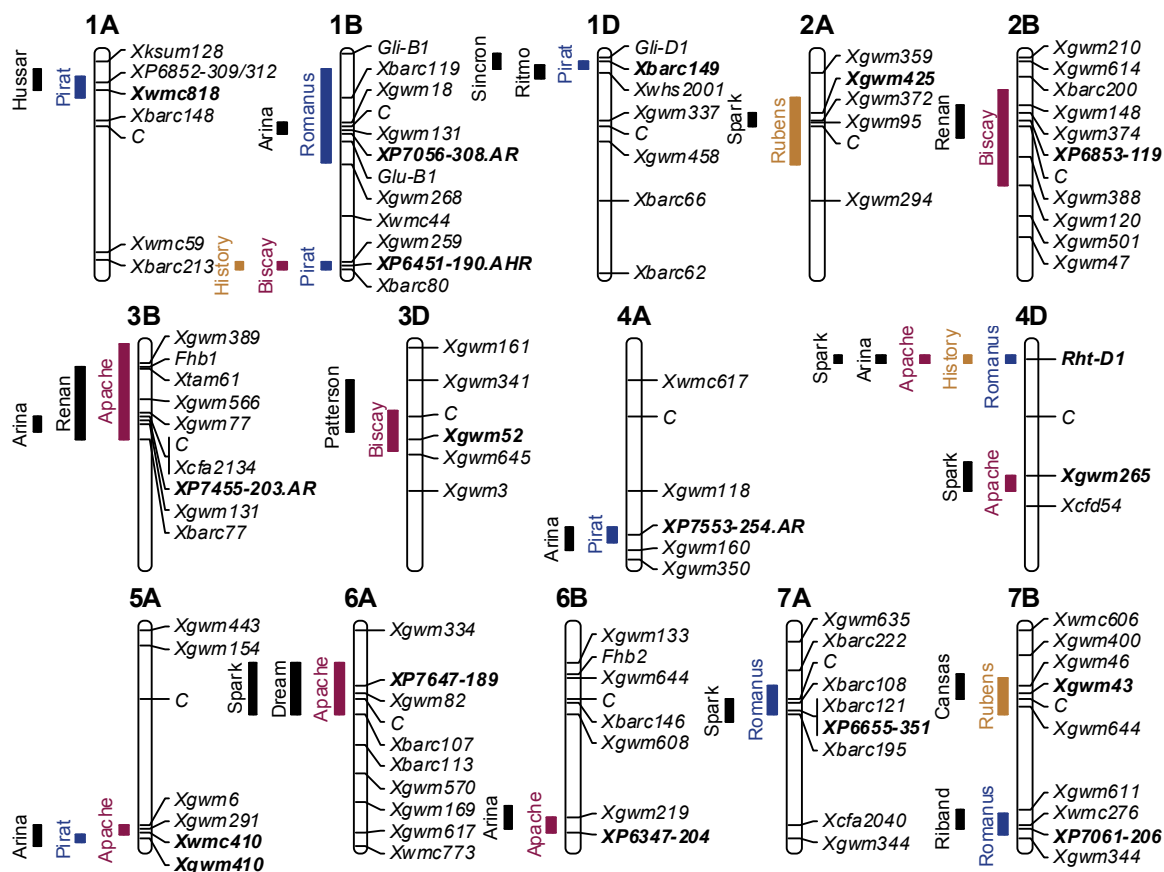


Abb. 5: Identifizierte Resistenzgene an den jeweiligen Chromosomen des Weizengensoms in adaptierten Sorten. In der genetischen Kopplungskarte sind die Bezeichnungen der molekularen Marker und die Namen der resistenzvermittelnden Sorten aufgeführt.

### 3 Resistenzleistung aktueller Sorten

Nachdem für die pflanzenbauliche Beratung der Gehalt an DON der entscheidende Parameter ist, wurden empfehlungsrelevante Sorten in einem eigenen Versuch auf ihre Ertragsleistung und den Toxingehalt unter provozierten Befallsbedingungen geprüft. Der Versuch Nr.110 wird seit dem Jahr 2006 jährlich an vier bzw. fünf bayerischen Standorten mit 10 bis 18 Sorten angelegt. Um die Befallswahrscheinlichkeit mit *Fusarium* ssp. zu erhöhen und den Versuchsfehler zu verringern, sind in allen Parzellen vier bis fünf Maisstoppeln pro Quadratmeter eingestreut worden. Fungizide durften nur bis zum Erscheinen des letzten Blattes (BBCH 37) eingesetzt werden. Von 2006-2011 wurden parallel Parzellen angelegt, die zusätzlich zur Blüte (ab BBCH 59) gezielt mit Fungiziden gegen *Fusarium*-Arten behandelt wurden, um den Wirkungsgrad dieser Maßnahme im direkten Vergleich zu ermitteln. Der DON-Gehalt der Weizenkörner wurde im LfL-Labor (AQU) mittels HPLC bestimmt.

Die mehrjährigen Versuche belegen, dass eine gezielte *Fusarium*-Behandlung in die Blüte den mittleren DON-Gehalt um rund 60 % reduziert, wobei die Wirkungsgrade stark schwanken. Mit Fungiziden allein kann der Erreger demnach nicht zuverlässig bekämpft werden.

### Unterschiede in der Sortenanfälligkeit

Aus vorangegangenen Versuchen war bekannt, dass die Minderungen des Toxingehalts auf ein Zehntel beim Schritt von anfälligen zu resistenten Sorten möglich ist. Ein Vergleich der DON-Werte der mittel bis stark anfälligen Sorte Tobak mit den gut resistenten Sorten bestätigt dies (Abb. 6). Aber auch innerhalb des empfehlungsrelevanten Sortiments mit Sorten ab einer mittleren Anfälligkeit ist immerhin noch ein Faktor von vier bis fünf zwischen den Sorten im Toxingehalt zu verzeichnen. Impression und Hermann zeigten mehrjährig eine geringe Anfälligkeit und niedrige DON-Gehalte. Pflanzenbauliche Maßnahmen sollten bei Sorten, wie Forum, Schamane, JB Asano, Kredo, Muskat und Julius, die auf mittlerem Niveau eingestuft sind, angepasst werden. Diese Sorten eignen sich nur eingeschränkt nach der Vorfrucht Mais und benötigen intensiveren Pflanzenschutz. Unsere Provokationsversuche zeigen eine gute Wiederholbarkeit und damit auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis. Sorten mit nur einjährigen Ergebnissen haben aufgrund der geringeren Versuchszahl einen größeren Vertrauensbereich und sind damit etwas weniger genau geschätzt. Dennoch zeigt die bisherige Erfahrung, dass auch diese Werte schon gute Informationen für die Praxis darstellen. So ist die Sorte Tobak in Bezug auf die *Fusarium*-Anfälligkeit kritisch zu beurteilen und auf keinen Fall für Risikolagen zu empfehlen. Kometus, zweijährig geprüft, hingegen schneidet ähnlich positiv ab wie Hermann und Impression.

Diese Ergebnisse belegen, dass allein durch die Sortenwahl das Mykotoxinrisiko erheblich reduziert werden kann. Unter stärkerem Befall zeigt sich auch die Resistenz als ertragswirksam. Im oberen Ertragsbereich sind hier nur weniger anfällige Sorten zu finden. Unter normalen Umständen ertragsstarke, aber *Fusarium*-anfällige Sorten weisen unter diesen Bedingungen einen starken Ertragseinbruch auf (Abb. 7).

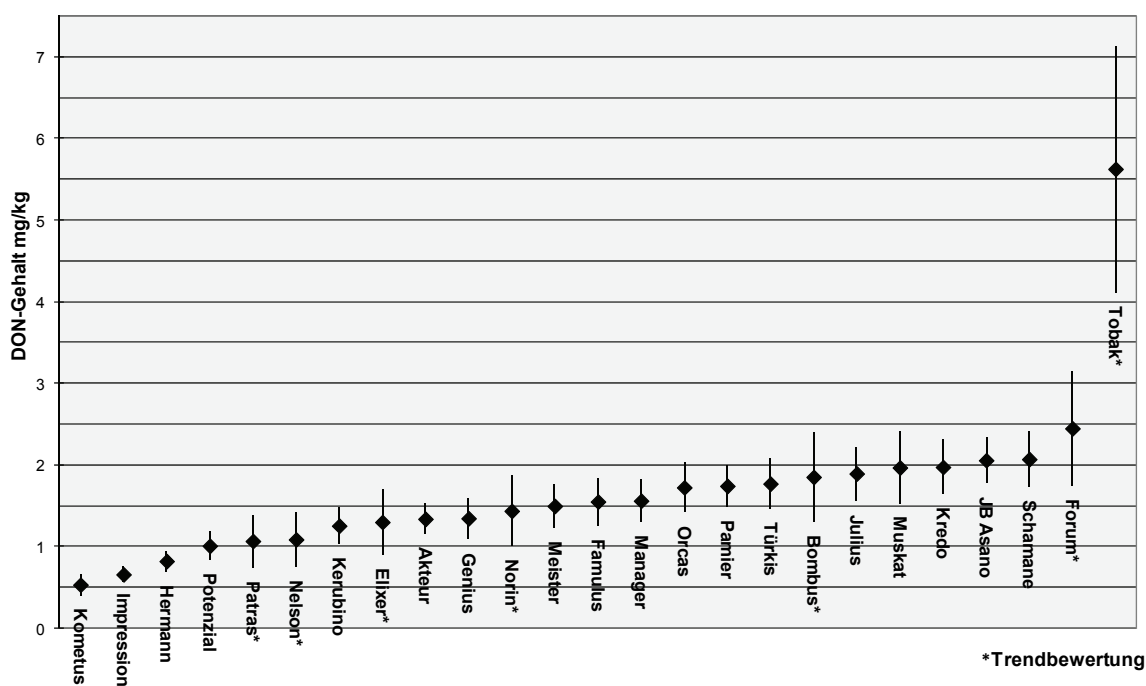


Abb. 6: Faktorieller Sortenversuch DON-Gehalte Winterweizen – Inokulation durch Einstreu von Maisstoppeln, ohne Fungizidbehandlung zur Blüte, mehrjährige Auswertung

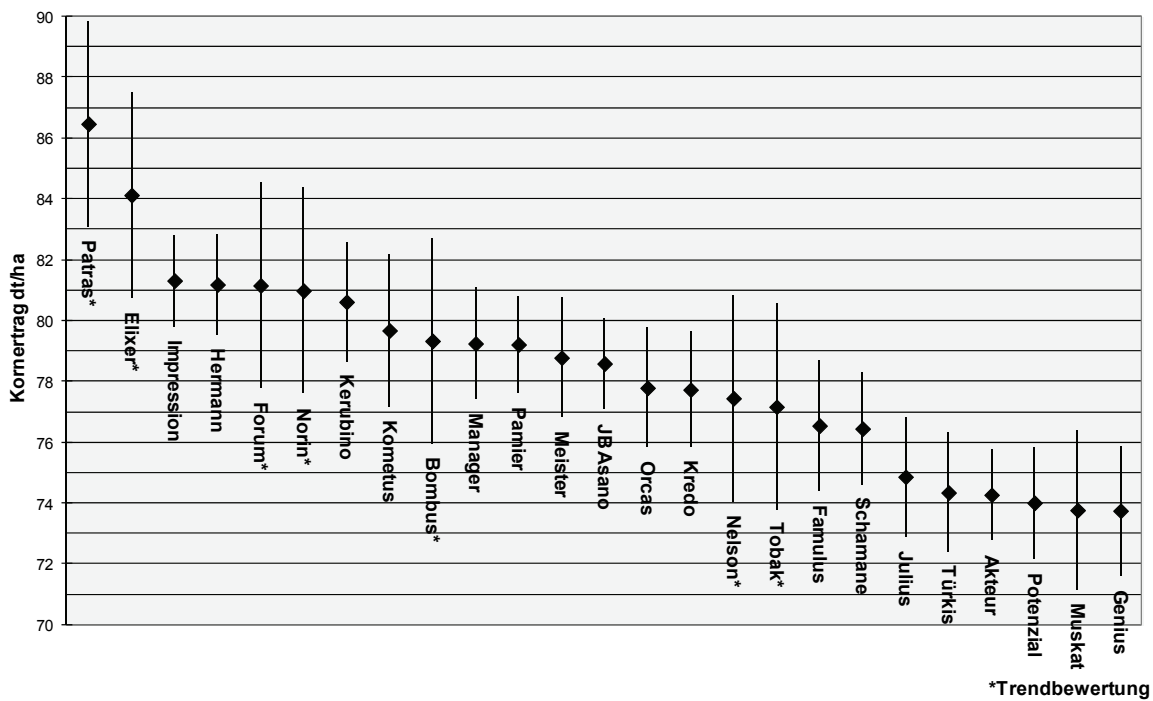


Abb. 7: Faktorieller Sortenversuch Erträge Winterweizen – Einstreu von Maisstopplern, ohne Fungizidbehandlung zur Blüte, mehrjährige Auswertung

## 4 Literaturverzeichnis

- [2] Hartl, L., Wosnitza, A., Zimmermann, G. (2001): Sortenresistenz wird besser. DLG-Mitteilungen 8/01, 40-43.
- [3] Buerstmayr, H., Lemmens, M., Hartl, L., Doldi, L., Steiner, B., Stierschneider, M. and Ruckebauer, P. (2002): Molecular mapping of QTLs for Fusarium head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (type II resistance). *Theoretical and Applied Genetics* 104, 84-91.
- [4] Buerstmayr, H., Steiner, B., Hartl, L., Griesser, M., Angerer, N., Lengauer, D., Miedaner, T., Schneider, B. and Lemmens, M. (2003): Molecular mapping of QTLs for Fusarium head blight resistance in spring wheat. II. Resistance to fungal penetration and spread. *Theoretical and Applied Genetics* 107, 503-508.
- [5] Buerstmayr, H., Ban, T., Anderson, J.A. (2009): QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breeding* 128, 1-26.
- [6] Salameh, A., Buerstmayr, M., Steiner, B., Neumayer, A., Lemmens, M., Buerstmayr, H. (2011): Effects of introgression of two QTL for Fusarium head blight resistance from Asian spring wheat by marker-assisted backcrossing into European winter wheat on Fusarium head blight resistance, yield and quality traits. *Molecular Breeding* 28, 485-494.
- [7] Ohe, C., Ebmeyer, E., Korzun, V., Miedaner, T. (2010): Agronomic and Quality Performance of Winter Wheat Backcross Populations Carrying Non-Adapted Fusarium Head Blight Resistance QTL. *Crop Science*, 50, 2283-2290.
- [8] Holzapfel, J., Voss, H.-H., Miedaner, T., Korzun, V., Häberle, J., Schweizer, G., Mohler, V., Zimmermann, G., Hartl, L. (2008): Inheritance of resistance to Fusarium head blight in three European winter wheat populations. *Theoretical and Applied Genetics* 117, 1119-1128.



---

## ***Fusarium*-Monitoring und gezielter Fungizideinsatz zur *Fusarium*-Bekämpfung in Getreide**

Stephan Weigand, Peter Büttner, Peter Eiblmeier

LfL, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

Stephan.Weigand@LfL.bayern.de

### **Zusammenfassung**

Ährenfusariosen sind ein langjähriger Forschungsschwerpunkt an der LfL. Repräsentative Getreideproben aus ganz Bayern werden bereits seit mehr als 20 Jahren auf das Mykotoxin Deoxynivalenol (DON) untersucht. Zusätzlich wird an den Körnern auch das auftretende Artenspektrum der Gattung *Fusarium* spp. bestimmt. Hierbei war *F. graminearum* der am häufigsten vorkommende DON-Bildner. Unter Beteiligung von Landwirten, Beratung, Handel und Mühlen wird seit dem Jahr 2007 ein zusätzliches Vorerntemonitoring bei Weizen durchgeführt. Zur saisonalen Risikoabschätzung einer möglichen Toxinbelastung werden dazu 10 bis 14 Tage vor der Ernte Ährenproben aus ganz Bayern auf DON untersucht. Durch eine gute Übereinstimmung mit den Ernteproben hat sich dieses Vorgehen bewährt. Neben den wichtigen vorbeugenden Maßnahmen ist der gezielte Fungizideinsatz zur *Fusarium*-Bekämpfung in Risikosituationen von besonderer Bedeutung. Feldversuche belegen, dass Blütenbehandlungen mit modernen Fungiziden die DON-Gehalte bei Weizen und Triticale um 60 bis 80 % reduzieren können. Begleitet durch epidemiologische Untersuchungen sind diese Daten die Basis für die Beratungsempfehlungen des amtlichen Pflanzenschutzdienstes in Bayern.

### **Summary**

Fusarium head blight (FHB) is a research focus at the LfL for a long time. Since more than 20 years content of the mycotoxin deoxynivalenol (DON) was determined for representative Bavarian cereal samples. Additionally grains were examined for the occurrence of different *Fusarium* species. Overall *F. graminearum* was the most important DON producing species. Together with farmers, advisors, trade and milling associations a pre-harvest monitoring of wheat was started in 2007. For an early estimate of the seasonal toxin risk the content of DON was examined of ear samples from all over Bavaria 10 to 14 days prior to harvest. These DON levels agreed well with later harvest sampling. Aside from preventive measures the specific use of fungicides to control FHB is an important tool, especially for risk situations. Field trials in wheat and triticale show a 60 to 80 % reduction of DON levels with application of modern fungicides during anthesis. Together with further epidemiological investigations these data were used to derive recommendations for the official advisory service for plant protection in Bavaria.

## 1 Einleitung

Ährenfusariosen zählen zu den weltweit bedeutendsten Getreidekrankheiten. In den letzten Jahrzehnten hat insbesondere die partielle Taubährigkeit bei Weizen stark zugenommen [1]. Generell stellen diese Erkrankungen in zweierlei Hinsicht ein Problem dar: Zum einen vermindern sie den Ernteertrag, zum anderen führt der Befall zu einer deutlichen Verminderung der Qualität des Erntegutes. Vor allem die im Korn durch *Fusarium* spp. gebildeten Mykotoxine sind von besonderer Relevanz, da sie z.T. eine erhebliche Belastung des Getreides bzw. der daraus produzierten Lebens- und Futtermittel darstellen und somit Nutztiere und Verbraucher gefährden können [2]. In der EU sind zur Vorsorge seit 2006 Höchstgehalte für die Fusariumtoxine Deoxynivalenol (DON), Zearalenon und die Fumonisine B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> in Getreide und Getreideprodukten zur Verwendung in Lebensmitteln festgelegt [3]. Im Bereich der Futtermittel existieren entsprechende Richtwerte [4]. Solche wurden jüngst auch für die *Fusarium*-Toxine T-2 und HT-2 veröffentlicht [5]. An der LfL werden bereits seit dem Jahr 1989 repräsentative Ernteproben aus Bayern auf ihren Befall mit *Fusarium*-Arten und auf ihren DON-Gehalt im Korn untersucht [6, siehe auch Beitrag Rieder in diesem Heft]. Im Fokus standen dabei die Hauptbrotgetreidesorten Weizen und Roggen, später auch Sommergerste und Mais. Neben dem Gesamtbefall mit *Fusarium* spp. wurde auch das Artenspektrum ermittelt [7].

Auf Initiative des Bayerischen Müllerbundes sind diese Nachernte-Erhebungen, zur Unterstützung einer qualitätsgerechten Verwertung von Winterweizen, seit dem Jahr 2007 durch ein Vorerntemonitoring ergänzt worden [8, 9]. Unterstützt von weiteren Partnern der Wertschöpfungskette Winterweizen (Verband Deutscher Mühlen e.V., BayWa AG, Landhandelsverband Bayern e.V., Landeskuratorium Pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V., Cluster Ernährung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) wurde hierbei, durch Ährenbonituren und DON-Untersuchungen bereits 10 bis 14 Tage vor dem Drusch, das Risiko einer Toxinbelastung zur Ernte abgeschätzt.

Schon seit den 1990er Jahren sind Ährenfusariosen und deren Vermeidung ein wichtiger Forschungsschwerpunkt an der LfL. Dabei wurden frühzeitig die auf der Bodenoberfläche verbleibenden Ernterückstände der Vorfrucht Mais als wesentlicher Risikofaktor erkannt. Fruchtfolgeänderungen waren und sind aber, aufgrund der ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Vorteile des Mais, in der Praxis nur begrenzt umsetzbar. Durch den Biogas-Boom der letzten Jahre hat sich dessen Anbauumfang sogar noch deutlich erhöht. Neben dem konsequenten Pflugeinsatz wurden daher an der LfL auch neue und verbesserte Verfahren der Stoppelzerkleinerung und -einarbeitung geprüft [10]. Solche Maßnahmen mindern auch den bestehenden Zielkonflikt zwischen *Fusarium*-Vermeidung und Erosionsschutz durch Pflugverzicht [11]. Eine weitere effektive und zugleich kostenneutrale Vorbeugemaßnahme ist die Wahl einer Weizen- oder Triticalesorte mit geringer *Fusarium*-Anfälligkeit. Von Seiten der Züchtung werden stets neue Sorten eingeführt und von der Beratung in Bayern für Risiko-Situationen auch gezielt empfohlen [siehe auch Beitrag Hartl & Nickl in diesem Heft]. Aus anderen Gründen ist der Anbauumfang von mittelanfälligen Weizensorten in Bayern jedoch nach wie vor relativ hoch. Bei solchen Sorten erweist sich dann die letzte Möglichkeit zur Vermeidung von *Fusarium*-Infektion, die direkte Bekämpfung durch den gezielten Einsatz von Fungiziden, als besonders wirksam [12]. Auch hierzu wurden an der LfL bereits frühzeitig Feldversuche durchgeführt [13]. Mit der Zulassung der ersten Fungizide gegen *Fusarium*-Befall wurde dann ab dem Jahre 1998 deren Wirksamkeit an der LfL regelmäßig geprüft. Neben verschiedenen Wirkstoff-



fen und deren Dosierung, war dabei stets auch die richtige Terminierung der Behandlung Gegenstand der Untersuchungen [14]. Da in der Praxis häufig nicht alle vorbeugenden Maßnahmen gleichzeitig ergriffen werden und in jedem Fall das Witterungsrisiko zum Zeitpunkt der Getreideblüte bleibt, ist der Fungizideinsatz ein wichtiger Baustein zur Vermeidung einer möglichen Toxinbelastung des Erntegutes [15].

## 2 Material und Methoden

### 2.1 *Fusarium*-Vorerntemonitoring

Über die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie das Landeskuratoriums für pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V. (LKP) wurden 10 bis 14 Tage vor dem geplanten Erntetermin auf etwa 100 Weizenschlägen jeweils 200 Ähren entnommen. Weitere Ährenproben sendeten landwirtschaftliche Betriebe ein, die in Zusammenarbeit mit den verarbeitenden Mühlen am Vorerntemonitoring teilnahmen. Die Ähren wurden an der LfL mit einer Labordreschmaschine ausgedroschen und die Körner mittels ELISA-Verfahren (Ridascreen® Fast DON, r-biopharm, Darmstadt) auf DON analysiert (Nachweisgrenze: 0,11 ppm). Die Ergebnisse der DON-Analysen wurden sowohl den teilnehmenden Landwirten als auch den mitwirkenden Partnern der Verbundberatung, des Handels und der Mühlen zeitnah mitgeteilt.

### 2.2 *Fusarium*-Nacherntemonitoring

Die Untersuchung erfolgte im jeweiligen Jahr an 190 Weizen-, 80 Roggen-, 120 Gersten- und 105 Maisproben aus ganz Bayern. Zur mikrobiologischen Untersuchung wurden 200 Körner oberflächendesinfiziert, nach einem Waschschrift mit sterilem Wasser getrocknet und auf einem Nähragar (Malzextrakt; SNA) ausgelegt. Die Inkubation erfolgte bei einer Temperatur von 22 °C und unter Belichtung mit langwelligem UV-Licht. Nach einer Kulturdauer von 10 bis 14 Tagen fand die mikroskopische Auswertung anhand der Mikro- und Makrokonidien bzw. Chlamydosporen statt.

### 2.3 Fungizide zur *Fusarium*-Bekämpfung

Die Prüfung von Fungizide hinsichtlich einer Minderung von *Fusarium*-Befall und Toxinbildung erfolgte in zwei Versuchsserien am Standort Frankendorf im Landkreis Erding (langjähriger Niederschlag: 850 mm, Temperaturmittel: 7,5 °C, tiefgründige Lehmböden, Ackerzahlen: 65 bis 80). Die Feldversuche wurden jeweils als Blockanlage mit vier Wiederholungen in Weizen und Triticale angelegt, mit einer Parzellengröße von 20 m<sup>2</sup> und einer beernteten Kernparzelle von 10 m<sup>2</sup>. Als natürliche Inokulumquelle dienten Maisstoppeln, die im Frühjahr in einer Dichte von einer Stoppel je m<sup>2</sup> in die Parzellen eingestreut wurden. Von Mitte Mai bis Ende Juni wurde der Askosporenflug mit einer Burkard-Sporenfalle (Thermo-Dux, Wertheim am Main) erfasst. Die mikroskopische Auswertung der Sporenbänder erfolgte in einer zeitlichen Auflösung von 90 Minuten. In Abb. 3 sind die Werte zu Tagessummen aggregiert dargestellt. Die zugehörigen Witterungsdaten stammen von der agrarmeteorologischen Messstation Frankendorf. Die Fungizidapplikation erfolgte mit einer tragbaren Rückenspritze bei einer Wasseraufwandmenge von 300 l/ha mit der Düse Airmix 110-03. Neben einem Fungizidvergleich zum einheitlichen Termin wurden in den Versuchsserien jeweils auch gestaffelte Applika-

tionstermine im gesamten infektionsgünstigen Zeitraum, vom Beginn des Ährenschiebens bis zum Beginn der Kornbildung geprüft. Zum Schutz vor frühem Krankheitsbefall erfolgte eine einheitliche Fungizidbehandlung in der Schossphase. Die Fungizidwirkung wurde anhand von Ährenbefall, Tausendkornmasse, Ertrag sowie dem DON-Gehalt (HPLC) des Erntegutes beurteilt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 *Fusarium*-Vorerntemonitoring

Der Vergleich der mittleren DON-Gehalten der Ährenproben aus dem Vorerntemonitoring mit den repräsentativen Ernteproben zeigt im Wesentlichen eine gute Übereinstimmung in den vergangenen sechs Jahren (siehe Abb. 1).

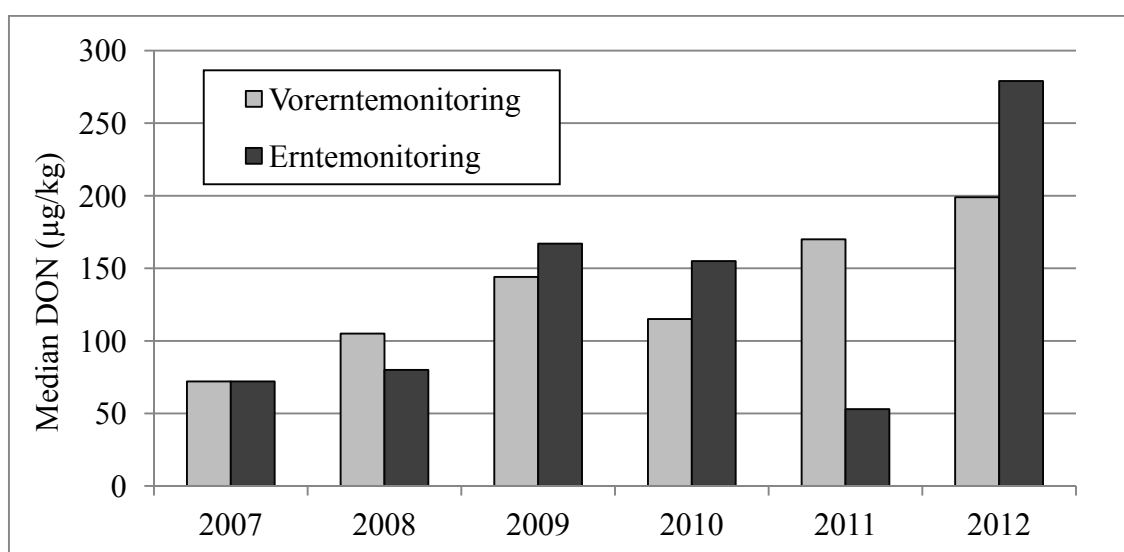


Abb. 1: Vergleich der DON-Gehalte aus Vorernte- und Erntemonitoring in den Jahren 2007 bis 2012

Trotz verschiedenem Probenkollektiv und auch möglichen Abweichungen durch die unterschiedliche Messmethode (ELISA vs. HPLC) verdeutlicht dies die grundsätzliche Eignung des Vorerntemonitorings zur Abschätzung des saisonalen Risikos. Sowohl die sehr geringen DON-Gehalte in den ersten fünf Projektjahren, als auch die leicht erhöhten Toxingehalte im „Fusariumjahr“ 2012 waren so bereits mit einigen Tagen Vorlauf feststellbar. In allen Jahren konnten damit den beteiligten Partnern der Wertschöpfungskette bereits frühzeitig wichtige Informationen zur Einschätzung der DON-Belastung bayerischer Weizenpartien geliefert werden.

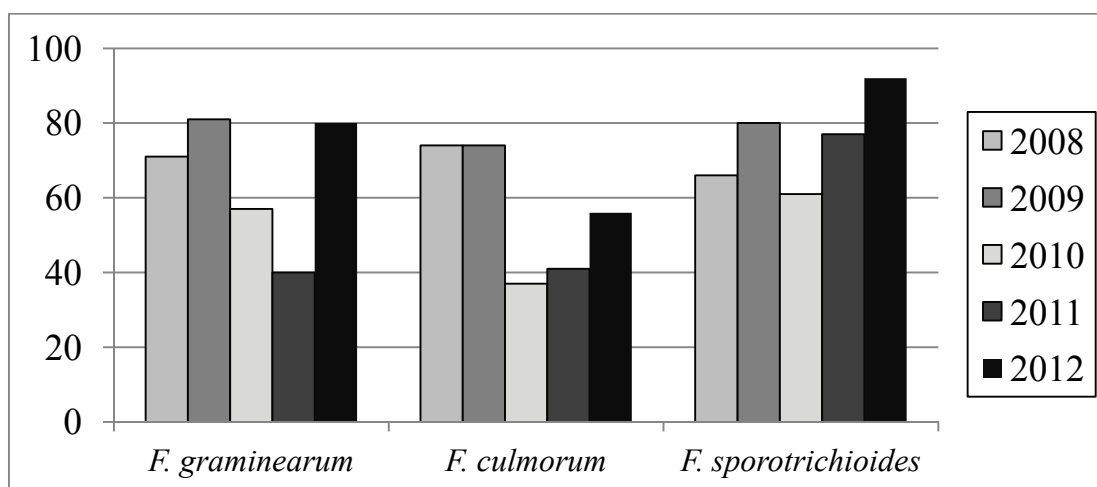
#### 3.2 *Fusarium*-Nacherntemonitoring

In den vergangenen Jahren trat immer im Wesentlichen *F. graminearum* als Haupt-DON-Produzent in Erscheinung. Insbesondere in den Jahren 2009 und 2012 konnte der Erreger in größerem Umfang beobachtet werden. *F. culmorum* spielte hingegen meist eine untergeordnete Rolle. Allein im Jahr 2008 trat er in vergleichbarer Häufigkeit auf (Tab. 1; Abb. 2).

Tab. 1: *Fusarium-Nacherntemonitoring. Auftreten von F. graminearum und F. culmorum in den vergangenen 5 Jahren*

|                       |  | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------------------|--|------|------|------|------|------|
| <i>F. graminearum</i> | Anteil befallener Proben in %              | 71   | 81   | 57   | 40   | 80   |
|                       | Maximalwerte Anteil befallener Körner in % | 26   | 41   | 33   | 12   | 35   |
| <i>F. culmorum</i>    | Anteil befallener Proben in %              | 74   | 74   | 37   | 41   | 56   |
|                       | Maximalwerte Anteil befallener Körner in % | 28   | 20   | 26   | 12   | 25   |

Neben den beiden bisher erwähnten *Fusarium*-Arten trat in den letzten Jahren auch verstärkt *F. sporotrichioides* bei Weizen auf (Abb. 2). Gerade dieser Pilz ist als T-2 bzw. HT-2 Toxin-Bildner bekannt. Ein vergleichbarer Trend konnte auch bei der Gerste beobachtet werden. Gut 80 % der Proben waren mit diesem Pilz infiziert, während die DON-Produzenten hier in den letzten Jahren meist nur bei der Hälfte der Proben auftraten und dabei auch längst nicht die Befallsgrade des Weizens erreichten. Neben den bisher erwähnten Arten ließen sich noch *F. poae*, *F. tricinctum* und *F. avenaceum* bei meist 50 bis 80 % der Weizen- und Gerstenproben nachweisen. Auch *F. langsethiae* – ebenfalls ein T-2 bzw. HT-2 Toxin-Bildner – war noch relativ häufig, bei 20 bis 30 % der Proben vertreten. Der Roggen war hingegen stets deutlich geringer mit *Fusarium*-Arten belastet. Es konnten in keinem Jahr Befallsgrade erreicht werden, wie sie für Gerste und Weizen beobachtet wurden.

Abb. 2: *Auftreten verschiedener Fusarium-Arten an Weizenerntegut der letzten 5 Jahre; Anteil der Proben mit positivem Nachweis der jeweiligen Art in %*

### 3.3 Fungizide zur *Fusarium*-Bekämpfung

Wie in weiten Teilen Bayerns regnete es auch am Versuchsstandort Frankendorf im Zeitraum von der Mitte des Ährenschiebens bis zum Ende der Blüte häufig und teils ergiebig (Abb. 3).

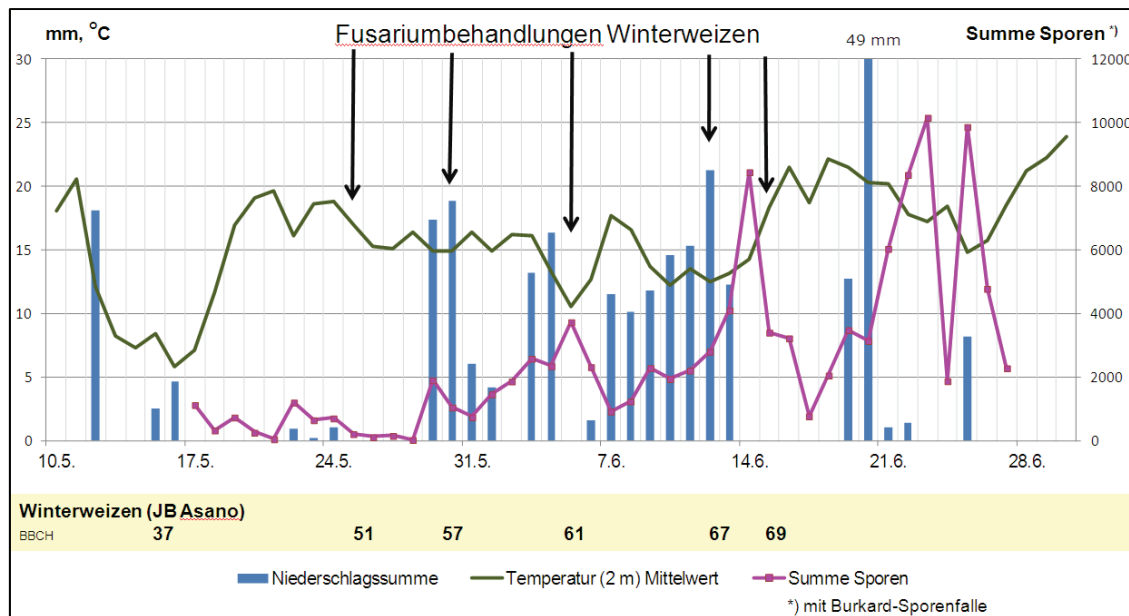


Abb. 3: Witterungsverlauf und Askosporenflug am Standort Frankendorf 2012

Die DON-Gehalte blieben dennoch ohne *Fusarium*-Behandlung mit 0,74 mg/kg noch unter dem Rohwaren-Grenzwert von 1,25 mg/kg, was vor allem den vergleichsweise niedrigen Temperaturen zuzuschreiben war (Abb. 4). Dass aber über den gesamten Zeitraum *Fusarium*-Infektionen möglich waren, belegen zum einen die Askosporenmessungen mit der charakteristisch hohen Freisetzung nach Regenschauern, sowie die Ergebnisse der Ährenbehandlungen. Während die *Fusarium*-Behandlung in BBCH 51, wie erwartet, den DON-Gehalt noch nicht reduzieren konnte, erzielten alle weiteren Behandlungen bis BBCH 69 eine deutliche DON-Reduktion von 68 bis 83 %. Durch wirksame Bekämpfung von *Fusarium* in der Ähre, sowie Spätinfektionen von *Septoria tritici*, DTR und Braunrost im Blattbereich sicherten die Behandlungen gleichzeitig Mehrerträge von 8 bis 15 dt/ha. Die etwas geringere Ertragswirkung am 12. Juni ist dem bereits zwei Stunden nach der Applikation einsetzenden Regen und einer damit geringeren Wirkung gegen die Blattpathogene zuzuschreiben, während die Wirkung in der Ähre dadurch nicht vermindert wurde.

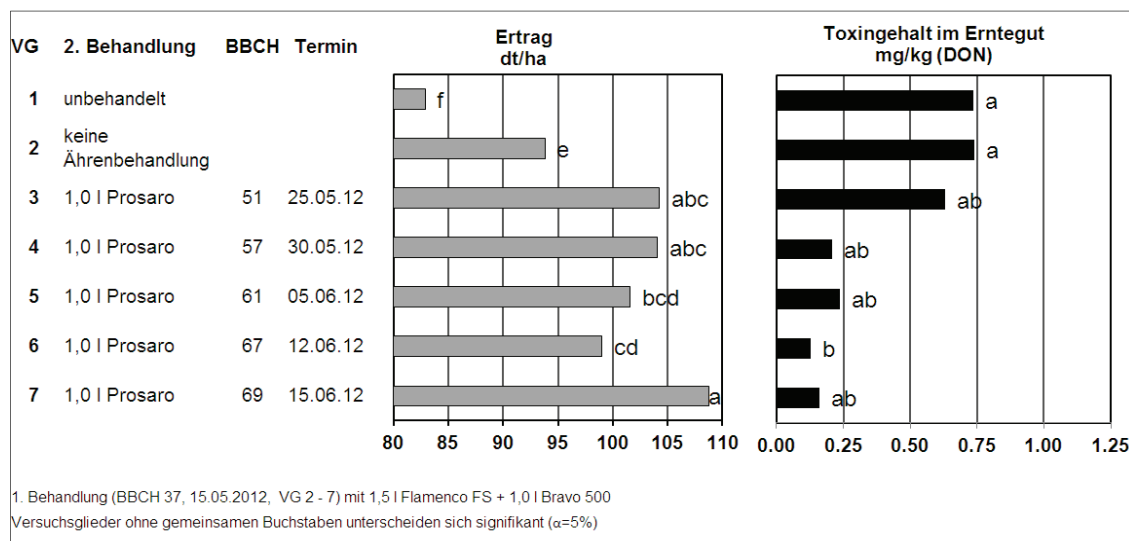


Abb. 4: Einfluss des Termins der Ährenbehandlung auf den Ertrag und den Toxingehalt

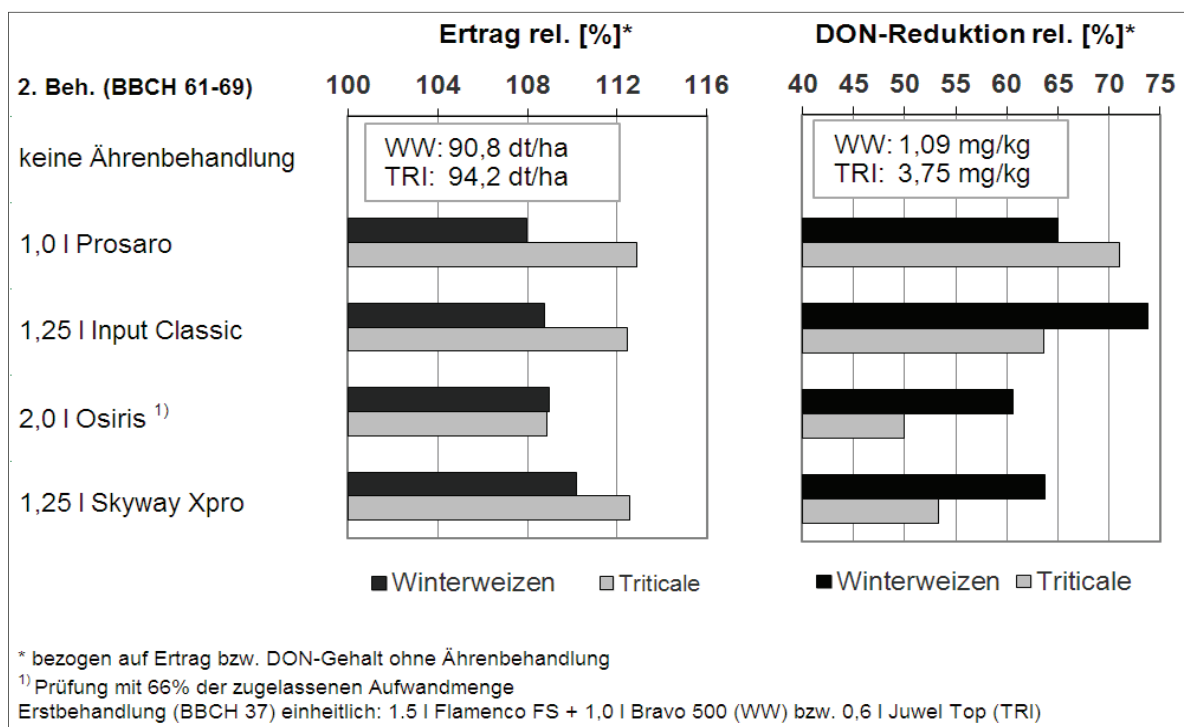


Abb. 5: Ertragssteigerung und Toxinreduktion durch Fungizide in Winterweizen (Sorte: JB Asano) und Triticale (SW Talentro) – Mittel der Jahre 2010-2012 am Standort Frankendorf

In der mehrjährigen Fungizid-Prüfung zeigt das neue Carboxamid-Präparat Skyway Xpro, durch seine gute Dauerwirkung gegen Blattpathogene, bei der Ertragswirkung leichte Vorteile in Weizen (Abb. 5). Die reinen Azolpräparaten Prosaro, Input Classic oder Osiris schneiden dagegen bei der Toxinminderung tendenziell besser ab. Für Osiris ist zu beachten, dass hier die Leistung bei deutlich verminderter Aufwandmenge geprüft wurde. In Regelaufwandmenge reduzierte Osiris in den zurückliegenden Jahren den DON-Gehalt dagegen wesentlich stärker, bei Weizen um durchschnittlich 68 %, bei Triticale um 76 %.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Ergänzung der langjährigen Mykotoxin-Untersuchungen von bayerischen Ernteproben durch ein Vorerntemonitoring hat sich bewährt. Die zeitnahe saisonale Risikoabschätzung für das Leittoxin DON wurde von allen Projektpartnern (Landwirten, Beratung, Handel, Mühlen) als wertvolle Information angesehen. Da das Verbundprojekt darüberhinaus auch zur Sensibilisierung aller Beteiligten der Wertschöpfungskette bei der Thematik Ährenfusariosen beiträgt, soll es auch in den folgenden Jahren fortgeführt werden. *F. graminearum* war an Weizen in den vergangenen Jahren die mit Abstand am häufigsten auftretende DON-bildende *Fusarium*-Art. Zurückzuführen ist dies, neben Witterungseinflüssen und Bodenbearbeitung, vor allem auf den Mais, der in Bayern die dominierende Vorfrucht ist. Die anderen nachgewiesenen *Fusarium*-Arten spielen zwar bei der Entstehung der partiellen Taubährigkeit keine entscheidende Rolle, können aber durch die von ihnen gebildeten Mykotoxine erhebliche Qualitätsverluste bis hin zur Unbrauchbarkeit des Erntegutes verursachen. Die langjährigen, standardisierten Untersuchungen der auftretenden *Fusarium*-Arten sind grundsätzlich auch geeignet, mögliche Verschiebungen des Artenspektrums im Zuge einer Klimaänderung zu erfassen. Darüberhinaus wird eine wichti-

ge Datenbasis geschaffen, wenn durch neue Forschungsergebnisse oder rechtliche Regelungen andere *Fusarium*-Arten in den Focus rücken sollten, wie zuletzt die Typ-A Trichothecen-Bildner. Daher werden auch die seit kurzem auf die Sommergerste und den Körnermais ausgedehnten Untersuchungen weitergeführt. Sowohl die Prüfung neuer *Fusarium*-Fungizide, als auch die Einbindung bestehender Mittel in gezielte Fungizidstrategien, unter Berücksichtigung des Ressourcenschutzes und der Resistenzvermeidung, sind für die Pflanzenschutzberatung in Bayern von besonderer Bedeutung. Die Integration dieser Fragestellungen in die jährlichen Exaktversuche des amtlichen Pflanzenschutzdienstes schafft dazu für Weizen und Triticale die nötige Datenbasis. Die gleichzeitige Erfassung der Witterungsparameter und begleitende epidemiologische Untersuchungen, wie etwa zum Askosporenflug liefern zudem wichtige Daten, die auch zur Weiterentwicklung von Prognosemodellen genutzt werden können.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Maras, W.F.O. (2000): *Fusarium* mycotoxins in the third millenium. Lecture at the 6<sup>th</sup> European Fusarium Semiar & Third COST 835 Workshop of Agriculturally Important Toxigenic Fungi, Berlin 11<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> September
- [2] Chu, S.F. (1997): Trichothecene mycotoxicoses. Encyclopedia of human toxicoses, Academic Press 8, 511-522
- [3] Anonymus (2006): Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. ABl. L 364, 5
- [4] Anonymus (2006): Empfehlung der Kommission vom 17. August 2006 betreffend das Vorhandensein von Deoxynivalenol, Zearalenon, Ochratoxin A, T-2- und HT-2-Toxin sowie von Fumonisin in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen. ABl. L 229, 7
- [5] Anonymus (2013): Empfehlung der Kommission vom 27. März 2013 über das Vorhandensein der Toxine T-2 und HT-2 in Getreiden und Getreideerzeugnissen. ABl. L 91, 12
- [6] Beck, R. Lepschy, J. (2000): Ergebnisse aus dem Fusarium-Monitoring 1989-1999 – Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. In: Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum* – Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbundes, Schriftenreihe der Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising und München. Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 39-47
- [7] Büttner, P. (2006): Das Artenspektrum der Gattung *Fusarium* an Weizen und Roggen in Bayern in den Jahren 2003 und 2004. Gesunde Pflanzen 58, 28-33
- [8] Weigand, S., Eiblmeier, P. (2008): *Fusarium*-Vorerntemonitoring 2007 – ein Pilotprojekt des Bayerischen Müllerbundes und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 60, 117-118
- [9] Eiblmeier, P. (2009): Winterweizen: Vorerntemonitoring von Fusarium in Bayern. SuB Heft 6-7/09, III-6 - III-7

[10] Kirchmeier, H., Demmel, M. (2007): Wirkung von Maisstrohzerkleinerung und Bodenbearbeitung auf Fusariuminfektionen des Winterweizens nach Körnermais. LfL-Information, Freising. Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 16 Seiten

[11] Mehrländer-Arbeitsgruppe Mykotoxine der amtlichen Pflanzenschutzdienste (2010): Minderung von Ährenfusariosen und Mykotoxinen bei pflugloser Bodenbearbeitung, 8 Seiten ([http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_40559.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_40559.pdf), Stand: 05.06.2013)

[12] Wegulo, S.N., Bockus, W.W., Hernandez Nopsa, J., De Wolf, E.D., Eskridge, K.M., Peiris, K.H.S., and Dowell, F.E. (2011): Effects of integrating cultivar resistance and fungicide application on Fusarium head blight and deoxynivalenol in winter wheat. *Plant Dis.* 95, 554-560

[13] Obst, A., Gammel, P. (2000): Fungizide gegen den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*. In: Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum* – Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbundes, Schriftenreihe der Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising und München. Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 89-98

[14] Weigand, S. (2008): Fusarium war 2007 in ganz Deutschland ein Thema. *GetreideMagazin* 13, 82-87

[15] Scheider, N, Guo, J.-R., Verreet, J.-A., and Beyer, M. (2009): Assessing the intensity of *Fusarium*-damage in wheat: A comparison of selected disease parameters during disease development and the role of fungicides. *J. Plant Dis. Protect.* 116, 118-123





## „Strategien zur Vermeidung von *Fusarium*-Pilzen und Mykotoxinbildung in Mais“

Joseph-Alexander Verreet<sup>(1)</sup>, MSc Christoph Algermissen<sup>(1)</sup>,  
Joachim Eder<sup>(2)</sup>, Michael Zellner<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Phytopathologie,  
Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel

<sup>(2)</sup> LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 4, 85354 Freising

<sup>(3)</sup> LfL, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

javerreet@phytomed.uni-kiel.de

### Zusammenfassung

Von dem auf drei Jahre (2012-2014) angelegten Projekt wurden aus dem Versuchsjahr 2012 Silo-, sowie Körnermaisproben von 15 Standorten in Bayern auf die Mykotoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA), sowie *Fusarium*-DNA der 4 Erregerarten *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae* und *F. avenaceum* untersucht. In einem ersten Teilprojekt konnten dafür Ernteproben von 20 verschiedenen Körnermaissorten aus den Landessortenversuchen 2012 analysiert werden, um den Einfluss der Sorte auf die Befallsschwere mit derartigen Erregern abzubilden. Ein zweites Teilprojekt an 6 Standorten beschäftigte sich mit der Frage, inwieweit eine Fungizidmaßnahme im Mais zu verschiedenen Terminen Einfluss auf die Menge an *Fusarium*-DNA und einhergehender Mykotoxinproduktion ausübt.

Bei den Toxinanalysen wurden bei keiner der untersuchten Körnermaissorten die EU-Grenzwerte von DON und ZEA für unverarbeiteten Mais überschritten. Die gemessenen Werte liegen im Bereich von 30 – 876 µg DON/kg TM und 9 – 119 µg ZEA/kg TM. Dabei bestand keine Korrelation zwischen den Mykotoxinwerten und den während der Vegetation bonitierten Befallswerten für die Stängelfäule (*Fusarium* spp.).

Im Falle des Mais-Fungizidversuches zeigte sich in vier von sechs Fällen eine Reduzierung der Mykotoxine DON und ZEA in den Ernteproben durch den Einsatz eines Pflanzenschutzmittels. Die dabei gemessenen *Fusarium*-DNA-Werte der DON- und ZEA-bildenden Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* korrelieren weitgehend mit den analysierten Toxinwerten.

### Summary

Silage and grain maize samples from 15 locations in Bavaria were analyzed in 2012 for the mycotoxins deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEA) and for DNA of the four *Fusarium* species *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae* and *F. avenaceum*. In the first part of this project, the effect of 20 grain maize cultivars on *Fusarium* disease severity was evaluated. In a second part of the project at six locations, the effects of different fungicide applications on *Fusarium* DNA quantity and mycotoxin production were tested.

The EU legal thresholds for DON and ZEA were not exceeded in any of the grain maize cultivars analysed. Mycotoxin contents varied between 30-876 µg DON and 9-119 µg ZEA / kg dry mass. Mycotoxin values and *Fusarium* stem disease severities did not correlate.

Maize fungicides reduced DON and ZEA contents in the harvest samples in four of six cases. Fusarium DNA levels of the DON and ZEA-forming species *F. graminearum* and *F. culmorum* largely correlated with the analyzed toxin values.

## 1 Einleitung

Die Maisanbaufläche in Bayern ist in den letzten Jahren weiter angestiegen. Im Zeitraum von 2009 – 2012 betrug der Flächenzuwachs bei Silomais 13 % auf 402.200 ha und bei Körnermais (einschl. CCM) 15 % auf 130.000 ha [1]. Ausgehend von einer weiterhin hohen Anbauintensität ist mit einem deutlich zunehmenden Infektionsdruck von *Fusarium*-Pilzen und ihren sekundäre Stoffwechselprodukten, den Mykotoxinen, zu rechnen. Eine zusätzliche und zukünftig zu erwartende Problematik ergibt sich aus der Biologie der *Fusarium*-Pilze, welche nicht nur an der Maiskultur, sondern auch an Weizen, der anbaustärksten Feldfrucht in Bayern, parasitieren. Mit dem Projekt „Strategien zur Vermeidung von *Fusarium*-Pilzen und Mykotoxinbildung im Mais“ sollen verschiedene Wege in Bezug auf den Maisanbau analysiert und aufgezeigt werden, um der Problematik einer eventuellen Belastung von Nahrungsmitteln durch Mykotoxine entgegenzuwirken.

## 2 Material und Methoden

Die Körnermaisproben aus dem Sorten-Teilprojekt stammten aus den Landessortenversuchen 2012 von 11 Standorten, die über Bayern verteilt sind. Jede Sorte war in eine von drei Reifegruppen eingeteilt (früh: Körnermais-Reifezahl bis 220, mittelfrüh: K230 – 250, mittelspät: K260 – 300), wobei die frühen Sorten an 6 Standorten, die mittelfrühen Sorten an 8 Standorten und die mittelspäten Sorten an 6 Standorten zu je drei Wiederholungen angebaut wurden. Pro Reifegruppe wurden 6 Sorten ausgewählt, die sich seit mindestens zwei Jahren in der Prüfung befinden und somit eine gewisse Praxisrelevanz besitzen. Ein weiteres Kriterium zur Auswahl der Sorten war die Einteilung für den Boniturwert „Anfälligkeit für Stängelfäule“ in der beschreibenden Sortenliste 2012 des Bundessortenamtes. Hierbei wurden Sorten im Spektrum der Boniturnoten 2 (sehr geringe bis geringe Anfälligkeit für Stängelfäule) und 7 (starke Anfälligkeit für Stängelfäule) ausgewählt. Zusätzlich wurden an 10 der 11 Standorte zwei Vergleichssorten (VS 1, VS 2) angebaut, die einen Vergleich aller Standorte gewährleisten sollten. Die Auswahl der Vergleichssorten erfolgte nach langjährigen Erfahrungen in Maisversuchen, bei denen diese Sorten eine erhöhte Anfälligkeit für *Fusarium*-Pilze und dementsprechender Mykotoxinbelastung aufwiesen. Eine Übersicht über die analysierten Körnermaisversuchssorten ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Standorte und Körnermaissorten des Sorten-Teilprojektes der Fusarium- und Mykotoxinanalyse 2012

| Reife-<br>gruppe | Sorte             | Körnermais<br>Reifezahl | Anfälligkeit<br>für Stängelfäule | Standorte   |
|------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|---|
| früh             | Amagrano          | 210                     | 3                                | Ehlheim, Frankendorf,<br>Günzburg, Neuhof, Regenstauf,<br>Straßmoos                   |
|                  | Amanatidis        | 220                     | 3                                |   |
|                  | NK Ravello        | 190                     | 3                                |   |
|                  | Ricardinio        | 220                     | 3                                |   |
|                  | Silvinio          | 210                     | 5                                |   |
|                  | Sulexa            | 220                     | 7                                |   |
| mittelfrüh       | Avixxene          | 250                     | 3                                | Frankendorf, Günzburg, Inzing,<br>Neuhof, Schwarzenau,<br>Sengkofen, Straßmoos, Thann |
|                  | Grosso            | 250                     | 3                                |   |
|                  | LG 3258           | 250                     | 3                                |   |
|                  | Lindsey           | 250                     | 2                                |   |
|                  | Luigi CS          | 250                     | 3                                |   |
|                  | Zidane            | 240                     | 3                                |   |
| mittelspät       | DKC 4371          | 280                     | 2                                | Frankendorf, Inzing, Reith,<br>Sengkofen, Straßmoos, Thann                            |
|                  | Lavena            | 260                     | 4                                |   |
|                  | Maxxis            | 290                     | 3                                |   |
|                  | Susann            | 280                     | 3                                |   |
|                  | Suzy              | 260                     | 6                                |   |
|                  | Torres            | 260                     | 3                                |   |
|                  | Vergleichssorte 1 | 160                     | 7                                | alle Standorte<br>(außer Reith)   |
|                  | Vergleichssorte 2 | 240                     | 3                                |   |

Im Maisfungizid-Teilprojekt an 6 Standorten in Bayern wurden Ernteproben aus den zwei Nutzungsrichtungen Silomais (4 Standorte) und Körnermais (2 Standorte) zu jeweils 6 Wiederholungen analysiert. Die Sortenwahl erfolgte hierbei standortspezifisch. Der Versuchsaufbau war in drei Varianten gegliedert, wobei neben der Variante 1 als unbehandelte Kontrolle, die Varianten 2 und 3 mit einer Fungizidbehandlung in EC 37 (ca. 1 m Maishöhe), bzw. EC 65 (Maisblüte) gefahren wurden. Als Präparat kam das bisher in Deutschland nicht zugelassene Retengo<sup>®</sup> Plus (50 g/l Epoxiconazol, 133 g/l Pyraclostrobin) mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha zum Einsatz.

Tab. 2: Standorte sowie Silo-, bzw. Körnermaissorten des Maisfungizid-Teilprojektes der Fusarium- und Mykotoxinanalyse 2012

| Nutzung    | Sorte      | Reifezahl<br>Silo-, Körnermais | Anfälligkeit für<br>Stängelfäule | Standort      |
|------------|------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------|
| Silomais   | Ronaldinio | S 240                          | k.A.                             | Scheßlitz     |
|            | Torres     | S 250                          | 3                                | Neuötting     |
|            | LG 3220    | S 230                          | 5                                | Frontenhausen |
|            | ES Paroli  | S 260                          | 2                                | Ehlheim       |
| Körnermais | Torres     | K 260                          | 3                                | Thann         |
|            | Ricardinio | K 220                          | 3                                | Buchhofen     |

Die Ernte der Versuche in beiden Teilprojekten erfolgte mittels Mähdruschverfahren. Aus dem Gutstrom der Erntemaschinen wurde bei den Silomaisproben pro Wiederholung jeweils ca. 2 kg Frischmasse, bei den Körnermaisprouben ca. 1 kg Frischmasse entnommen und mit herkömmlichen Methoden bis zur Lagerungsfähigkeit getrocknet (14%). Im Labor wurden die Ernteproben zunächst durch einen Mahlvorgang zerkleinert, wobei zur Mykotoxinanalyse eine Partikelgröße von 1,0 mm und für die DNA-Analyse von 0,2 mm verwendet wurde. Die Extraktion der Toxine DON und ZEA erfolgte nach einer Labor-Standardmethode mit Hilfe der Aufreinigungssäule Mycosep® 226, Aflazon+ der Firma Romer Labs®. Für die DNA-Extraktion wurde das NucleoSpin® Plant II Kit (Fa. Macherey-Nagel) verwendet. Die Untersuchung der Toxine erfolgte mit LC/MS-Analysetechnik der Firma Varian®. Für die qPCR-Läufe zur Ermittlung der Erregerpopulationshöhe der einzelnen *Fusarium*-Arten wurde ein Gerät der Firma Analytik Jena® benutzt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Das Jahr 2012 zeichnete sich durch eine bayernweit gering bis mittleren, befallsfördernden Witterung eine auf niederem Niveau verlaufende Epidemie von *Fusarium*-Pilzen und einhergehender Mykotoxinbelastung in Mais. Die Ergebnisse der Mykotoxinanalysen von ausgewählten Sorten des Landessortenversuches 2012 in Bayern dokumentieren ein ähnliches Bild. In Abbildung 1 sind die analysierten Gehalte an Deoxynivalenol (DON) der einzelnen Körnermaissorten und Standorte als Mittelwert aufgeführt. (so widersprüchlich zu verstehen!) Der höchste Wert von 876 µg DON/kg TM wurde bei der Sorte Silvinio erreicht. Die geringsten Kontaminationen mit DON konnten bei den Sorten Amanatidis (49 µg/kg) und NK Ravello (30 µg/kg) nachgewiesen werden. In der Vergleichssorte 2, welche als vergleichende Indikatortypsorte wegen ihrer hohen Anfälligkeit einen sicheren *Fusarium*-Befall mit einhergehender Mykotoxinbelastung repräsentiert und über alle Standorte angebaut wurde, konnte die jahresspezifisch zweithöchste Menge an DON (736 µg/kg) analysiert werden. Die erhöhte Kontamination mit DON, die in zahlreichen vorherigen Maisversuchen festgestellt wurde, konnte in diesem Versuch bestätigt werden. Anders zeigt sich das Ergebnis der Vergleichssorte 1. Sie weist in der DON-Untersuchung den drittniedrigsten Wert (61 µg/kg) aller 20 untersuchten Sorten auf. Grund dafür könnte die frühe Abreife von Vergleichssorte 1 sein, welche durch die, für bayerische Verhältnisse, sehr niedrige Körnermaissortenreifezahl von 160 zum Ausdruck kommt. Der zunächst latente Befall der Maispflanzen mit *Fusarium*-Pilzen wird sympto-

matisch erst als Stängelfäule sichtbar, wenn nach der Blüte die Translokation der Assimilate erfolgt und dadurch die Schaderreger zu starkem Wachstum und zur Sporenbildung angeregt werden. Tritt dieses Stadium an Maissorten mit späteren Reifezahlen ein, ist die frühe Sorte, die in unmittelbarer Umgebung auf dem Versuchsfeld steht, bereits der kritischen Blühphase entwachsen und kann somit nicht im dem Maße mit ihrem Assimilatstrom in die Körner *Fusarium*-Pilze und einhergehende Mykotoxine aufnehmen (keine zeitliche Koinzidenz).

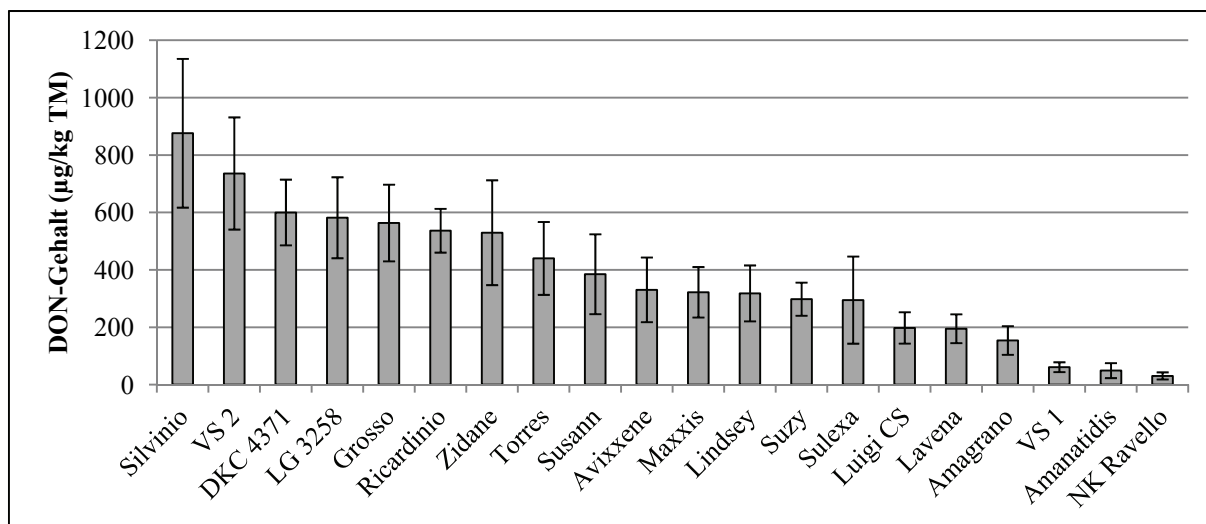


Abb. 1: Kontamination der Körnermaissorten mit Deoxynivalenol (DON) in µg/kg TM dargestellt als Mittelwert der Standorte bei 86 % TM; VS 1 = Vergleichssorte 1; VS 2 = Vergleichssorte 2

Um einen direkten Vergleich von DON- und ZEA-Gehalten der Körnermaisproben sichtbar zu machen, wurden die Sorten (Abb. 2) in gleicher Reihenfolge aufgeführt, wie sie in Abbildung 1 mit DON kontaminiert waren (hoch → niedrig, v.l.n.r.). Es wird deutlich, dass kein direkter Zusammenhang zwischen den Gehalten von DON und ZEA besteht ( $R^2 = 0,22$ ). (unverständlich). Der höchste Wert bei der Kontamination mit ZEA wurden bei der Sorte Grosso (119 µg/kg) analysiert. Die geringsten Belastungen wurden in den Sorten Avixxene (18 µg/kg) und Luigi CS (9 µg/kg) nachgewiesen. In 1,4 % der Fälle (137 Fallstudien, Ort x Sorte) wurde der EU-Grenzwert von 350 µg ZEA/kg TM für unverarbeiteten Mais [2] überschritten.

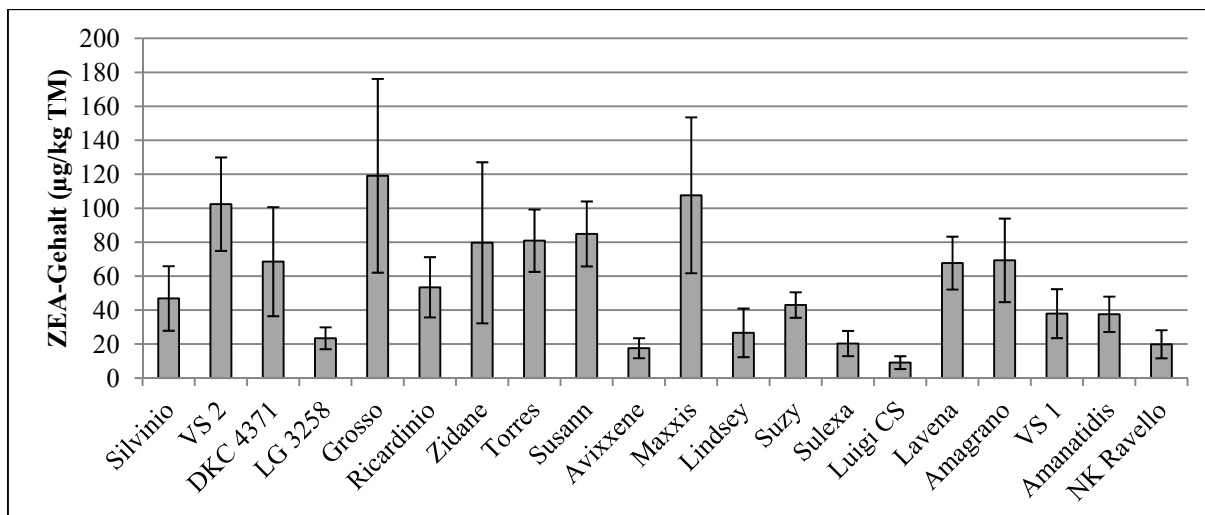


Abb. 2: Kontamination der Körnermaissorten mit Zearalenon (ZEA) in µg/kg TM dargestellt als Mittelwert der Standorte bei 86 % TM, VS 1 = Vergleichssorte 1; VS 2 = Vergleichssorte 2  
Sorten-Anordnung erfolgte nach Höhe der DON-Kontamination (vgl. Abb. 1) v.l.n.r.

Analog zu den Ergebnissen des Sortenversuches ist die Mykotoxinbelastung der Ernteproben des Maisfungizid-Teilprojektes als gering mit DON und ZEA belastet, einzustufen (Abb. 3). Die höchsten Kontaminationen wurden in den Körnermaisproben des Standortes Thann detektiert (DON: 473 µg/kg TM; ZEA: 252 µg/kg TM); generell liegen in den Körnermaisproben höhere Belastungen als in den Silomaisproben vor. Der spätere Erntetermin des Körnermaises vermag hierbei eine entscheidende Rolle gespielt haben, wobei angenommen werden kann, dass die *Fusarium*-Pilze und Mykotoxine mit zunehmender Abreife aus einem Großteil der Maispflanze mit den Assimilaten in die Körner transloziert und dort konzentriert wurden. An den Standorten Scheßlitz, Neuötting, Frontenhausen und Buchhofen konnte durch den Einsatz von Fungiziden eine Reduzierung der Kontamination mit DON in den Ernteproben festgestellt werden, wobei Differenzen zwischen den verschiedenen Zeitpunkten der Fungizidbehandlungen unbedeutend blieben. Im Fall des Mykotoxins ZEA konnte, neben den genannten Standorten, zusätzlich eine Verminderung der Werte in den Ernteproben aus Thann festgestellt werden. Im Vergleich zu den Körnermaisproben befindet sich die Kontamination der Silomaisproben bei ZEA auf sehr niedrigem Niveau.

Von den vier mittels qPCR bestimmten *Fusarium*-Arten stellt in allen Körnermaisproben und in der Hälfte der Silomaisproben *F. graminearum* die dominierende *Fusarium*-Art. Neben *F. graminearum* ist hier nur noch *F. culmorum* in der Lage die Mykotoxine DON und ZEA zu bilden; die Art konnte allerdings nur in sehr geringem Maße in den Proben detektiert werden. Das Hauptaugenmerk bei dem Vergleich der Befallsstärke der Ernteproben mit *Fusarium* und den analysierten Mykotoxinwerten liegt demnach in diesen beiden Arten. Die Korrelation der beiden alleinigen DON-Produzenten zwischen dem quantitativen Parameter *Fusarium*-DNA und Mykotoxinen kann im Fall von *F. graminearum* + *F. culmorum* zu DON durch ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,38$  beschrieben werden. Deutlicher wird die Korrelation bei ZEA mit einem Wert von  $R^2 = 0,53$  (nicht dargestellt). *F. poae* und *F. avenaceum* wurden eher in den Silomaisernteproben nachgewiesen.

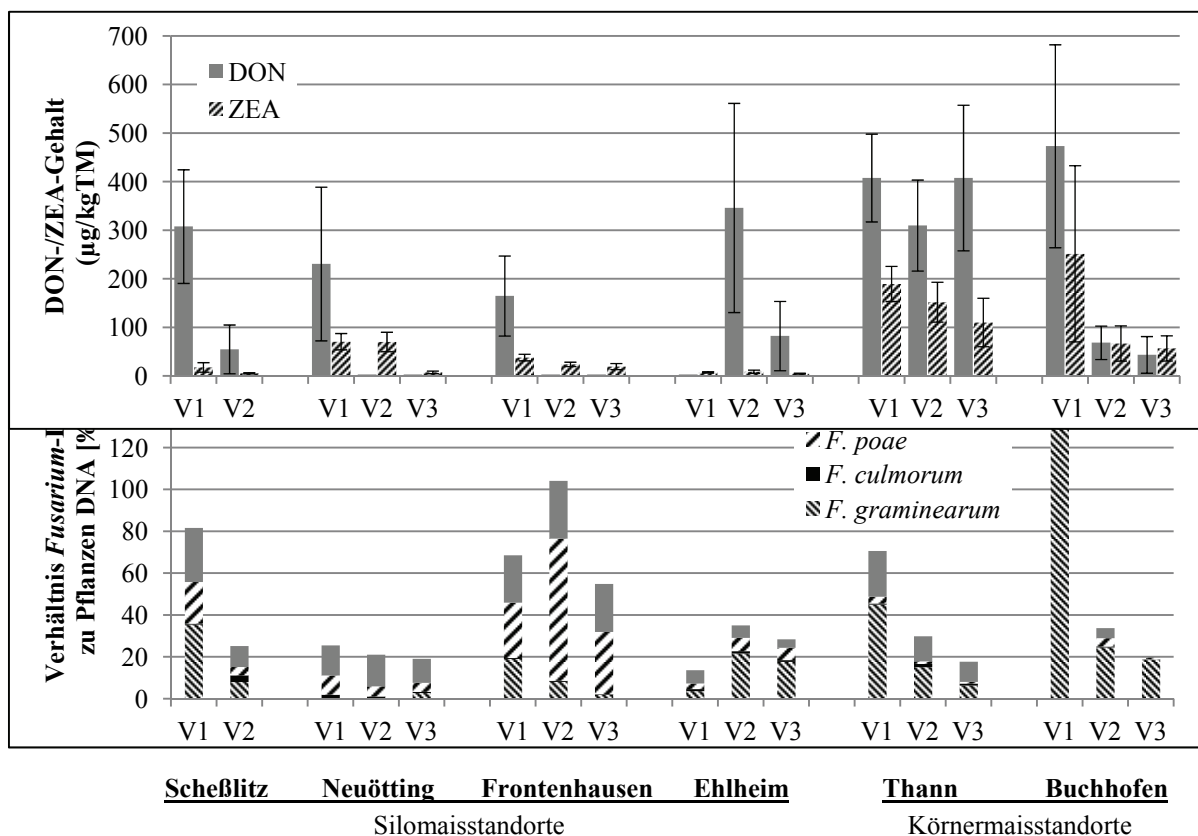


Abb. 3: Ergebnisse der Mykotoxin- und Fusarium-DNA-Analyse des Maisfungizid-Teilprojektes;

dargestellt sind die Kontaminationen der Ernteproben mit Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) in  $\mu\text{g/kg TM}$ , sowie die Befallsstärke mit den nachgewiesenen Fusarium-Arten dargestellt als Verhältnis von Fusarium-DNA zur Pflanzen-DNA in %; beide Parameter in Abhängigkeit des Behandlungstermins mit dem Präparat Retengo<sup>®</sup> Plus (1,5 l/ha)

V1 = Kontrolle

V2 = Applikation zu EC 37 (bei ca. 1m Maishöhe)

V3 = Applikation zu EC 65 (zur Maisblüte)

Trotz der Tatsache, dass *F. graminearum* und *F. culmorum* als Erreger der Stängelfäule gelten [3], konnte anhand der Analyse der Ernteproben aus den Landessortenversuchen und den bonitierten Befallswerten, die während der Vegetation erhoben wurden, keine Korrelation festgestellt werden (Abb. 4). Da die Boniturnote „Anfälligkeit für Stängelfäule“ in der beschreibenden Sortenliste direkt aus den erhobenen Befallswerten generiert wird, ist anhand der vorliegenden Ergebnisse festzustellen, dass die bestehende Einstufung von Maissorten hinsichtlich des Stängelfäulebefalls zu überprüfen ist.

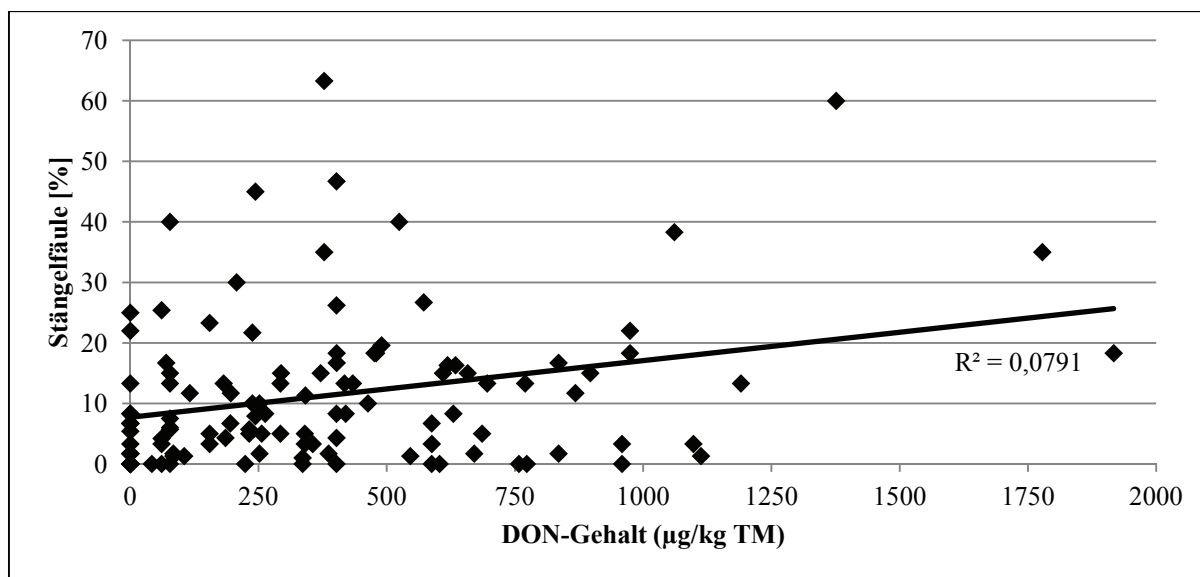


Abb. 4: Verhältnis des Boniturwertes „Stängelfäule“ und den gemessenen DON-Gehalten in den Körnermaisproben der Landessortenversuche 2012,  $n = 117$

## 4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres von dem auf drei Jahre angesetzten Projekt „Strategien zur Vermeidung von *Fusarium*-Pilzen und Mykotoxinbildung im Mais“ zeigen eine geringe Belastung der analysierten Proben mit den Mykotoxinen DON und ZEA. Im Maisfungizid-Teilprojekt lassen die Ergebnisse an einigen Standorten darauf schließen, dass sich mit einer Fungizidbehandlung im Mais die Kontamination des Erntegutes verringern lässt. Allerdings liegen die überregional nachgewiesenen Werte auf einem niedrigen Niveau, womit vorrangig Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes, wie z.B. Sortenwahl, zur Reduzierung derartiger Erreger in Betracht gezogen werden sollten. Rückschlüsse von dem Boniturwert „Stängelfäule“ auf den Mykotoxingehalt im Erntegut müssen einer kritischen Überprüfung unterzogen werden. Die erst einjährigen Ergebnisse erfahren in den Folgejahren erweiterte Prüfung und finden an anderer Stelle Darstellung.

## 5 Literaturverzeichnis

[1] Anonym, (2012): Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK), Anbaufläche Körnermais/CCM

<http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland/Gesamtfl%C3%A4chen-entwicklung>, Abrufdatum: 10.05.2013

[2] Anonym (2007): Verordnung (EG) Nr. 1126/2007 der Kommission zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln hinsichtlich Fusarientoxinen in Mais und Maiserzeugnissen zur Festsetzung der Höchstgehalte bestimmter Kontaminanten in Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Union, L255/14-L255/17

[3] Anonym (2008): Änderung zu den Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen, Herausgeber: Bundessortenamt, 7



---

# Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen

Michael Diepolder, Sven Raschbacher, Sabine Heinz, Gisbert Kuhn

LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz,  
Lange Point 12, 85354 Freising  
Michael.Diepolder@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Während bei Marktfrüchten die in der Praxis erzielten Erträge relativ gut bekannt sind, trifft dies für Grünlandflächen bislang weitaus weniger zu. Daher basieren für pflanzenbauliche und ökonomische Kalkulationen wichtige Faustzahlen meist auf Schätzwerten oder Daten von Feldversuchen.

Auf bis zu 150 nach Nutzungsintensität, Pflanzenbestand und Lage gezielt ausgewählten Wirtschaftsrundlandflächen werden seit 2009 mit genau definierten Schnittproben die Erträge und Mineralstoffgehalte aller Aufwüchse gemessen und daraus die jährlichen Trockenmasse-Erträge und Nährstoffabfuhrer errechnet. Aus der vorliegenden vierjährigen Auswertung (2009-2012) geht hervor, dass der Pflanzenbestand, der Ertrag und die Mineralstoffgehalte von Grünlandbeständen maßgeblich von der Nutzungsintensität beeinflusst werden. Eine Klassifizierung der mittleren jährlichen Trockenmasse-Erträge und Nährstoffabfuhrer in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität ist daher im Grünland sinnvoll und gerechtfertigt. Zwischen den in den Praxisflächen gefundenen Durchschnittswerten und den aus Versuchen abgeleiteten Faustzahlen, welche in der bayerischen landwirtschaftlichen Beratung verwendet werden, zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung, jedoch sind teilweise auch deutliche Abweichungen erkennbar. Die teilweise hohen Streuungen um die Mittelwerte weisen darüber hinaus auch darauf hin, dass es fachlich sinnvoll ist, Faustzahlen mittels einfacher Korrekturfaktoren an einzelbetriebliche oder regionale Verhältnisse anpassen zu können.

## Summary

While the yield of cash crops is well-known, the yield of grassland on farms is often estimated or calculated indirectly on the base of data from experimental sites.

To improve the database on grassland yields of farms in Bavaria the yield and nutrient content of each harvest was sampled on grassland sites under ordinary management practice since 2009. Annually yields and nutrient removal were calculated. Cutting intensity showed a significant impact on yield and nutrient content as well as on vegetation composition: increasing intensity enhanced yield and nutrient content and depleted the species number. The results of the presented four year study on practical farms agreed to a large extent with the typical values derived from experimental sites ordinary used in agricultural

counseling and confirms the classification of dry-mass yields and nutrient removal in grassland according to cutting frequency. The observed variability of the measured data emphasized the use of correction factors to adapt typical values to individual farm or regional conditions in counseling and standard guidelines for fertilization.

## 1 Einleitung

Während bei Marktfrüchten die in der Praxis erzielten Erträge relativ gut bekannt sind, trifft dies für Grünlandflächen bislang weitaus weniger zu. Daher basieren für pflanzenbauliche und ökonomische Kalkulationen wichtige Faustzahlen meist auf Schätzwerten oder Daten von Feldversuchen. Letztere können allerdings nur an vergleichsweise wenigen Standorten durchgeführt werden. Ziel des Ertrags- und Nährstoffmonitorings auf bayerischen Grünlandflächen ist es daher, Erträge und Nährstoffentzüge von Praxisflächen in Abhängigkeit von deren Nutzungsintensität und Pflanzenbestandszusammensetzung zu quantifizieren. Damit soll zukünftig eine breitere Datenbasis für die Validierung von Faustzahlen (Biomassepotenzial, Düngebedarfsermittlung, Nährstoffbilanzierung nach Düngeverordnung) geschaffen werden. Erste Ergebnisse aus dem Projekt wurden von Diepolder et al. (2012; 2013) [1, 2] beschrieben und diskutiert.

## 2 Material und Methoden

Auf 120 Grünlandschlägen mit praxisüblicher Bewirtschaftung wurden seit 2009 alle Aufwüchse beprobt. In einer zweiten Projektphase (2012-2014) kamen weitere 30 Flächen hinzu, so dass seit 2012 insgesamt 150 Flächen untersucht werden. Die Flächen wurden nach Nutzungsintensität, Pflanzenbestand und räumlicher Verteilung aus dem Datenbestand des „Grünlandmonitoring Bayern“ (Kuhn et al., 2011) [3] gezielt ausgewählt. Für die Charakterisierung des Pflanzenbestandes wurde die jeweils aktuellste Vegetationsaufnahme der Fläche des Grünlandmonitoring Bayern verwendet. Der Pflanzenbestand wurde hier auf einer 25 m<sup>2</sup> großen Probefläche nach der Methode von Klapp & Stählin (1936) [4] aufgenommen. Es wurden dabei alle höheren Pflanzenarten erfasst und ihr jeweiliger Anteil am Ertrag geschätzt.

Auf den ausgewählten Flächen werden vom Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung e.V. (LKP) mittels genau definierter Schnittproben (7 x 1 m<sup>2</sup> pro Schlag, Abgrenzung der Fläche durch tragbare Rahmen, Schnitt mit elektrischer Rasenkantenschere mit Höhenbegrenzung, Schnitthöhe 5-6 cm, Schnittzeitpunkt max. 2-3 Tage vor der Beerntung durch den Landwirt) die Frisch- und Trockenmasse-Erträge (TM) aller Aufwüchse sowie deren Nährstoffgehalte (N, P, K, Mg, Ca, S, Na, Zn) bestimmt; der Rohproteingehalt (XP) wird standardgemäß aus dem N-Gehalt durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 abgeleitet. Aus den TM-Erträgen und Mineralstoffgehalten werden für jede Fläche der jährliche TM-Ertrag pro Hektar bzw. die entsprechenden Nährstoffabfuhrer ermittelt, welche bei Phosphor, Kali und Magnesium düngungskonform in Oxidform umgerechnet werden. Die gewonnenen Daten incl. zusätzlich erhobener betriebs- und schlagspezifischer Parameter fließen in eine Biomasse- und Nährstoffdatenbank der LfL.

Die für diesen Beitrag analysierten Daten der Jahre 2009-2012 wurden auf Plausibilität geprüft und unvollständige Datensätze von der Auswertung ausgeschlossen. Die in Tabelle 2 aufgeführten XP- bzw. Mineralstoffgehalte sind als gewichtete Mittel, also unter Einbeziehung der Ertragsanteile einzelner Schnitte am Jahresertrag ausgewiesen. Um die Er-

gebnisse mit den offiziellen bayerischen Faustzahlen zur Düngebedarfsermittlung (Wendland et al., 2012) [5] bzw. der Nährstoffbilanzierung nach Düngeverordnung (DüV) vergleichen zu können, wurden weiterhin die aus den Schnittproben ermittelten TM-Erträge auf Nettowerte umgerechnet und die Netto-Abfuhr an Nährstoffen bestimmt. In diese Umrechnung flossen neuere Erkenntnisse aus Arbeiten von Köhler et al. (2012) [6] ein. Ebenfalls wurde berücksichtigt, dass bei den bayerischen Faustzahlen Standard Netto-Werte bei vorwiegender Silagenutzung (Heuanteil max. 20 %) unterstellt sind. Der Datensatz wurde statistisch verrechnet (SAS, PROC GLM, SNK-Test mit Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,05$ ). Unterschiedliche Buchstaben in den Tabellen 2 und 4 bedeuten bei den aufgeführten Parametern signifikante Unterschiede zwischen den Schnitten pro Jahr.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### Pflanzenbestände

Im Mittel wurden auf den Flächen 17 Arten auf 25 m<sup>2</sup> gefunden. Die mittlere Artenzahl der beprobten Flächen liegt aufgrund der gezielten Auswahl intensiverer Flächen unter dem von Kuhn et al. (2011) [3] festgestellten Durchschnitt des bayerischen Wirtschaftsgrünlandes, welcher bei 19,4 Arten pro 25 m<sup>2</sup> liegt. Aus Tabelle 1 ist zu ersehen, dass mit steigender Nutzungsintensität die Artenzahl pro Untersuchungsfläche abnimmt.

Der Anteil der Gräser am Ertrag nimmt bis zu einer Nutzungsintensität von vier Schnitten pro Jahr zu (Tab. 1). Bei sehr intensiv genutzten Grünlandbeständen mit fünf jährlichen Schnitten sinkt er wieder etwas zu Gunsten des Leguminosenanteils ab. Mit steigender Nutzungshäufigkeit nimmt der Anteil erwünschter Arten wie Weidelgräser und Weiß-Klee, allerdings auch der Anteil unerwünschter Arten zu. Die Gewöhnliche Rispe (*Poa trivialis*) und der Löwenzahn (*Taraxacum officinale*-Gruppe) bilden den größten Teil der gefundenen, im Wirtschaftsgrünland unerwünschten Pflanzenarten.

Im Durchschnitt aller 150 untersuchten Grünlandflächen erreicht der Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*) mit 15,5 % den höchsten Ertragsanteil, gefolgt von Bastard-Weidelgras (*Lolium x hybridum*) mit 13,0 % und Gewöhnlichem Rispengras (*Poa trivialis*) mit 10,4 %.

Weitere Auswertungen zeigen (nicht dargestellt), dass die dominanten Arten, also die Pflanzenarten mit dem größten Ertragsanteil (Hauptbestandsbildner), sich ebenfalls nach der Nutzungsintensität unterscheiden. Während der Wiesenfuchsschwanz der häufigste Hauptbestandsbildner in Drei- und Vier-Schnittwiesen ist, überwiegen bei (Vier- bis) Fünf-Schnittwiesen die Weidelgräser. Bei sehr hoher Intensität (fünf Schnitte) kommt auch der Weiß-Klee (*Trifolium repens*) auf einigen Flächen bestandsbildend vor. Bei geringer Nutzungsintensität, d. h. ein bis zwei (max. drei) Schnitten pro Jahr sind dagegen auch Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) und Wiesen-Goldhafer (*Trisetum flavescens*) Hauptbestandsbildner, bei Wiesen mit höheren Schnittintensitäten nimmt der Anteil dieser Arten deutlich ab.

#### Erträge und Mineralstoffgehalte

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass sich insbesondere beim TM-Ertrag, jedoch auch bei den meisten Inhaltsstoffen sehr deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Nutzungsintensitäten abzeichnen. Dabei steigen die Werte von niedriger (2 Schnitte pro Jahr) über mittlere (3 Schnitte pro Jahr) bis hin zu hoher bzw. sehr hoher (4-5 Schnitte pro Jahr) Nutzungsintensität an. Weniger ausgeprägt war dies beim Schwefel- und insbesondere beim

Natrium- und Magnesiumgehalt beobachtbar. Beim Magnesium ließen sich die Unterschiede der einzelnen Nutzungsintensitäten nicht statistisch absichern. Die mittleren Kalziumgehalte sanken im Bereich von zwei bis vier Nutzungen pro Jahr tendenziell, aber nicht signifikant und waren bei Fünfschnittwiesen wieder erhöht. Die mittleren Zinkgehalte nahmen mit ansteigender Schnittintensität leicht ab.

Tab. 1: Artenzahl und geschätzte Anteile von Artengruppen und Einzelarten am Ertrag bei unterschiedlicher Nutzungsintensität (Mittelwert und Standardabweichung in Klammern).

|   | <b>Schnitte pro Jahr</b> |             |             |             |
|---|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
|   | <b>2</b>                 | <b>3</b>    | <b>4</b>    | <b>5</b>    |
| Anzahl Flächen (n)  | 18                       | 24          | 38          | 28          |
| <b>Artenzahl je Aufnahme (pro 25 m<sup>2</sup>)</b>               | 19,4 (5,2)               | 19,7 (4,9)  | 16,6 (5,5)  | 13,9 (3,5)  |
| <b>Geschätzte Anteile von Artengruppen am Ertrag (%)</b>          |                          |             |             |             |
| Gräser  | 70,4 (14,2)              | 72,4 (19,2) | 77,1 (16,4) | 73,6 (17,2) |
| Kräuter   | 22,1 (10,5)              | 18,5 (15,5) | 14,2 (11,6) | 14,5 (11,6) |
| Leguminosen   | 7,5 (11,4)               | 9,1 (10,3)  | 8,7 (9)     | 11,8 (12,1) |
| unerwünschte Arten *  | 9,7 (8,9)                | 17,9 (12,5) | 16,8 (12,8) | 21 (13,9)   |
| erwünschte Arten **   | 10,6 (11,8)              | 14 (14,4)   | 20,5 (16,6) | 32,7 (21,3) |
| <b>Geschätzte Anteile (%) von wichtigen Einzelarten am Ertrag</b> |                          |             |             |             |
| Wiesen-Fuchsschwanz   | 12,8 (20,1)              | 22,0 (18,8) | 16,9 (18,8) | 14,1 (18,9) |
| Bastard-Weidelgras  | 6,5 (17,3)               | 5,5 (13,9)  | 18,3 (25,3) | 15,3 (19,8) |
| Deutsches Weidelgras  | 2,8 (6,7)                | 6,3 (12,3)  | 9,3 (15,6)  | 18,6 (20,4) |
| Glatthafer  | 9,6 (13,7)               | 3,8 (8,2)   | 0,8 (2,4)   | 0 (0)       |
| Wiesen-Goldhafer  | 6,3 (6,0)                | 8,1 (11,3)  | 3,2 (4,8)   | 0,3 (0,6)   |
| Gewöhnliches Rispengras   | 5,4 (6,2)                | 10,8 (10,2) | 11,8 (10,2) | 12,7 (8,8)  |
| Weiß-Klee   | 3,8 (8,6)                | 5,9 (8,6)   | 8,2 (9,2)   | 11,6 (12,4) |

\*Unerwünschte Arten: Wiesen-Löwenzahn (*Taraxacum officinale*-Gruppe), Gewöhnliches Rispengras (*Poa trivialis*), Stumpfblättriger (*Rumex obtusifolius*) und Krauser Ampfer (*R. crispus*), Kriech-Quecke (*Elymus repens*) und Weiche Trespe (*Bromus hordeaceus*)

\*\*Erwünschte Arten: Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), Wiesen-Rispengras (*Poa pratensis*) und Weiß-Klee (*Trifolium repens*).

Vergleicht man die mittleren Gehalte der jeweiligen Intensitätsstufen von Tabelle 2 mit erforderlichen Konzentrationen bzw. Orientierungswerten in der Milchviehfütterung (Gruber Futterwerttabelle, 2011) [7], so lassen sich anhand Tabelle 3 folgende Sachverhalte feststellen: Bei 4-5 Schnitten liegen die mittleren Rohproteingehalte von 163 bzw. 174 g/kg TM (Tab. 2) auf dem Niveau gewünschter Rohproteingehalte in der Gesamtration von Milchkühen mit einer hohen Leistung von ca. 40 kg/Tag, während ein mittlerer Rohproteingehalt von 141 g/kg TM bei Grünlandbeständen mit dreimaliger Nutzung dem Orientierungswert für eine Ration bei halb so hohem Leistungsniveau (20 kg/Tag) entspricht.

Tab. 2: Jahreserträge von Schnittproben [in dt TM/ha] sowie deren Rohprotein- bzw. Mineralstoffgehalte [in g/kg TM, bei Zn in mg/kg TM, gewichtete Mittel] bei unterschiedlicher Nutzungsintensität (Mittel 2009-2012)

|                      | Schnitte pro Jahr |         |         |         |
|----------------------|-------------------|---------|---------|---------|
|                      | 2                 | 3       | 4       | 5       |
| Anzahl* (n)          | 39                | 60      | 101     | 79      |
| TM <sub>brutto</sub> | 53,7 D            | 89,8 C  | 114,1 B | 124,8 A |
| XP                   | 133 D             | 141 C   | 163 B   | 174 A   |
| P                    | 3,29 D            | 3,75 C  | 4,22 B  | 4,49 A  |
| K                    | 24,1 D            | 28,7 C  | 31,5 B  | 34,0 A  |
| Mg                   | 2,91 A            | 2,86 A  | 3,12 A  | 3,00 A  |
| S                    | 2,33 B            | 2,67 A  | 2,86 A  | 2,86 A  |
| Ca                   | 9,26 A            | 8,41 A  | 8,13 A  | 8,96 A  |
| Na                   | 0,41 B            | 0,53 B  | 0,94 A  | 0,73 AB |
| Zn                   | 39,2 A            | 36,1 AB | 36,0 AB | 35,4 B  |

Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Nutzungsintensitätsstufen

\*Anzahl (n) bedeutet die Anzahl der vollständigen Schnittproben in den vier Jahren 2009-2012, so lagen z.B. bei den Vierschnittwiesen 101 vollständige Ertragserfassungen im Untersuchungszeitraum vor.

Tab. 3: Orientierungswerte zur erforderlichen Konzentration von Rohprotein und Mengenelementen [in g/kg TM] in der Gesamtration von Milchkühen mit unterschiedlicher Milchleistung (nach Gruber Futterwerttabelle, LfL, 2011[7])

| Leistung  | XP  | P   | Mg  | Ca  | K  | S   | Na  |
|-----------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| 20 kg/Tag | 145 | 3,3 | 1,6 | 5,3 | 10 | 2,0 | 1,4 |
| 40 kg/Tag | 165 | 4,0 |     | 6,4 |    |     | 1,5 |

Die Praxisergebnisse belegen damit, dass eine intensive (standortgerechte) Nutzung maßgeblich zur grobfutterbasierten Eiweißversorgung in der leistungsorientierten Milchviehfütterung beiträgt. Hinzugefügt sei noch, dass aus Sicht der Pflanzenernährung der „kritische N-Gehalt“ – also die N-Konzentration, unter der Mangelsymptome auftreten - bei etwa 1,5 % N in der TM angegeben wird (Amberger, 1996) [8], was etwa 94 g XP/kg TM entspricht.

In Bezug auf den Phosphor werden bei Milchleistungen von 20 bzw. 40 kg/Tag Gehalte in der Gesamtration von 3,3 bzw. 4,0 g P/kg TM empfohlen (Tab. 3). Der obere Wert wird im Durchschnitt bei Dreischnittwiesen noch nicht erreicht, wie man aus Tabelle 2 entnehmen kann. Aus pflanzenbaulicher Sicht würden Gehalte unter ca. 2,0-2,5 g P/kg TM auf eine Unterversorgung hindeuten (Amberger, 1996; Diepolder & Hege, 2004) [8, 9]. Andererseits scheinen nach Untersuchungen von Greiner et al. (2010) [10] Gehalte von 3,0 g P/kg TM für eine Ausschöpfung des Ertragspotenzials ausreichend zu sein. Aus den Ergebnissen lässt sich somit kein Hinweis auf eine pflanzenbaulich unzureichende P-Versorgung bei einer bestimmten Intensitätsstufe ableiten.

Beim Kalium deutet sich dagegen eine große Diskrepanz zwischen den gewünschten pflanzenbaulichen bzw. tierischen Bedarfswerten und den in den Proben gemessenen Kaliumwerten an. So sehen Greiner et al. (2010) [10] zur Bemessung der Düngung einen Standardentzug von 20 g K/kg TM für die Ausschöpfung des Ertragsniveaus als ausreichend an. Nach Amberger (1996) [8] weisen erst K-Gehalte unter 15 g/kg TM auf einen K-Mangel hin. Unabhängig vom tierischen Leistungsniveau werden in der Milchviehration 10 g K/kg TM als Orientierungswert angesetzt (Tab. 3), wobei sich im Grünlandaufwuchs die K-Gehalte idealerweise in einem Bereich von ca. 24-26 g/kg TM bewegen sollten (Schuster und Moosmeyer; LfL, mdl. Mitteilung). Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist, liegen die mittleren Werte der Schnittproben deutlich über diesen Vorgaben, wobei die Gehalte von niedriger zu hoher Intensität ansteigen.

Die mittleren Schwefelgehalte im Futter von ca. 2,3-2,9 g/kg TM (Tab. 2) lassen bei keiner Nutzungsintensität auf eine generell unzureichende Versorgungslage schließen; die Gehalte sind deutlich höher als der Orientierungswert von 2,0 g S/kg TM für eine Milchviehration (LfL, 2011) [7], welcher in etwa der Untergrenze für den pflanzlichen Bedarf entspricht (Diepolder, 2003) [11]. Dagegen liegen die mittleren Natriumwerte im Grünlandfutter deutlich unter den Orientierungswerten der Milchviehfütterung von 1,4-1,5 g Na/kg TM und bestätigen den für dieses Element bekannten Ergänzungsbedarf über Mineralfutter. Amberger (1996) [8] verweist darauf, dass Natrium für C3-Pflanzen kein essentielles Nährelement ist.

Netto-Erträge und Netto-Nährstoffabfuhren

In Tabelle 4 sind die durchschnittlichen Netto-Erträge sowie Netto-Nährstoffabfuhren für die jeweiligen Nutzungsintensitäten und die dazugehörigen Standardabweichungen (s) dargestellt. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streubreite der Werte eines Merkmals rund um dessen Mittelwert (etwa zwei Drittel aller Werte liegen in dem Intervall von Mittelwert – s bis Mittelwert + s). Darüber sind zum Vergleich die bayerischen Faustzahlen (Wendland et al. , 2012) [5] dargestellt.

Sowohl beim Ertrag als auch bei den Nährstoffabfuhren steigen die Mittelwerte mit zunehmender Nutzungsintensität an und es unterscheiden sich die vier Intensitätsstufen fast ausnahmslos signifikant voneinander. Auch konnten für bayerische Praxisflächen intensitätsabhängige Schwefelabfuhren ermittelt werden, was im Grünlandbereich die derzeit gültigen bayerischen Faustzahlen zur Düngung ergänzt.

Die wie erwartet bei allen Parametern und Intensitätsstufen festgestellten großen Streuungen um die Mittelwerte zeigen jedoch auch, dass Durchschnittswerte und damit Faustzahlen zur Ableitung von Düngungsempfehlungen bzw. zur Erstellung von Flächenbilanzen nur unvollkommen die tatsächlichen Verhältnisse eines Einzelbetriebes widerspiegeln können.

Insgesamt besteht eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den in Praxisflächen gefundenen Durchschnittswerten und den Faustzahlen. Aus Tabelle 4 geht allerdings ebenfalls hervor, dass einzelne Mittelwerte der Praxisschläge teilweise mehr als 10 % über den in den Faustzahlen genannten Werten lagen. Das trifft beim TM-Ertrag bzw. bei der N-Abfuhr für die Drei- und insbesondere für die Vierschnittflächen, bei der P-Abfuhr nur für die Vierschnittflächen und bei der Mg-Abfuhr für die Zwei- bzw. Vierschnittflächen zu. Dies ist Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen.

Tab. 4: Netto-Erträge (in dt TM/ha) und Netto-Nährstoffabfuhren (in kg/ha) – Vergleich zwischen bayerischen Faustzahlen nach Wendland et al. (2012) [5] und Daten von Praxisflächen (Mittel 2009-2012, fett gedruckt; s: Standardabweichung)

|                               |                 | Schnitte pro Jahr |              |              |              |
|-------------------------------|-----------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
|                               |                 | 2                 | 3            | 4            | 5            |
| Anzahl (n)                    |                 | 39                | 60           | 101          | 79           |
| TM                            | Faustzahl       | 55                | 75           | 90           | 110          |
|                               | <b>Ø Praxis</b> | <b>50</b> D       | <b>84</b> C  | <b>107</b> B | <b>116</b> A |
|                               | s               | 16                | 19           | 23           | 28           |
| N                             | Faustzahl       | 100               | 165          | 245          | 310          |
|                               | <b>Ø Praxis</b> | <b>105</b> D      | <b>189</b> C | <b>279</b> B | <b>320</b> A |
|                               | s               | 37                | 49           | 60           | 73           |
| P <sub>5</sub> O <sub>5</sub> | Faustzahl       | 40                | 70           | 90           | 110          |
|                               | <b>Ø Praxis</b> | <b>38</b> D       | <b>71</b> C  | <b>103</b> B | <b>119</b> A |
|                               | s               | 15                | 18           | 24           | 32           |

|                       |                       | <b>Schnitte pro Jahr</b> |              |              |              |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                       |                       | <b>2</b>                 | <b>3</b>     | <b>4</b>     | <b>5</b>     |
| Anzahl (n)            |                       | 39                       | 60           | 101          | 79           |
| <b>K<sub>2</sub>O</b> | Faustzahl             | 140                      | 220          | 270          | 330          |
|                       | $\bar{\sigma}$ Praxis | <b>145</b> D             | <b>290</b> C | <b>407</b> B | <b>478</b> A |
|                       | s                     | 56                       | 94           | 121          | 149          |
| <b>MgO</b>            | Faustzahl             | 20                       | 40           | 45           | 55           |
|                       | $\bar{\sigma}$ Praxis | <b>24</b> C              | <b>39</b> B  | <b>55</b> A  | <b>58</b> A  |
|                       | s                     | 8                        | 12           | 14           | 18           |
| <b>S</b>              | Faustzahl             | -                        | -            | -            | -            |
|                       | $\bar{\sigma}$ Praxis | <b>11</b> C              | <b>22</b> B  | <b>30</b> A  | <b>33</b> A  |
|                       | s                     | 4                        | 8            | 8            | 9            |

Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Nutzungsintensitätsstufen

Bei den Netto-Abfuhr von Kali war die große Diskrepanz zwischen den Mittelwerten der Praxisflächen und den Faustzahlen besonders auffallend (Tab. 4), was weniger auf abweichende TM-Erträge als auf die hohen K-Gehalte (Tab. 2) der Praxisflächen zurückzuführen war. Mit Ausnahme der Zweischnittwiesen lag die mittlere Kaliabfuhr der Praxisschläge bei den übrigen Intensitätsstufen um durchschnittlich rund 43 % (32-51 %) über den veranschlagten Zahlen. Anscheinend lag auf vielen Flächen Luxuskonsum vor. Es ist jedoch kritisch zu hinterfragen, ob aufgrund dieser Ergebnisse künftig die Düngungsempfehlungen für Kalium angehoben werden müssen. Die bereits diskutierten Empfehlungen in der Tierernährung (LfL, 2011) [7] sowie insbesondere auch die Resultate von Greiner et al. (2010) [10], wonach eine Kalidüngung nach Standardzug (2,0 kg K bzw. 2,4 kg K<sub>2</sub>O pro Dezitonne TM) ausreichend für die Ausschöpfung des standorttypischen Ertragspotenzials ist, lassen dies aus fachlicher Sicht nicht sinnvoll erscheinen.

Ergänzend sei noch hinzugefügt, dass im Projekt auch Grünlandbestände mit nur einer jährlichen Nutzung als auch solche mit sechs Schnittnutzungen pro Jahr untersucht werden. Allerdings ist der Stichprobenumfang bislang zu klein, um sie in eine statistische Gesamtverrechnung mit aufzunehmen. Daher sind die Mittelwerte von 29 dt/ha TM und 52 kg/ha N-Abfuhr bei Einschnittwiesen (n = 11) bzw. 139 dt/ha TM und 394 kg/ha N-Abfuhr bei den sechsmal pro Jahr geschnittenen Flächen (n = 17) als vorläufige Ergebnisse zu werten.

Betrachtet man abschließend noch die Spannweite der mittleren Rohproteinträge bei den unterschiedlichen Nutzungsintensitäten, so umfasst diese eine Größenordnung von rund 320-650 kg Rohprotein bei extensiver, also ein- bis zweimaliger Schnittnutzung, 1.180 kg XP/ha bei dreimaliger, 1.745 kg XP/ha bei viermaliger und cirka 2.000-2.460 kg XP/ha bei hochintensiver, also fünf- bis sechsmaliger Schnittnutzung pro Jahr.



## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Insgesamt besteht auf der Basis des bisherigen Datensatzes (2009-2012) eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den in Praxisflächen gefundenen Durchschnittswerten und den in der bayerischen landwirtschaftlichen Beratung verwendeten, nach Intensitätsstufen unterteilten Faustzahlen. Ausnahme sind die auf den Praxis schlägen bei fast allen Nutzungsintensitäten festgestellten weit über den veranschlagten Werten liegenden Kalientzüge, wobei die gemessenen K-Gehalte den für Pflanze und Tier notwendigen Bedarf deutlich übersteigen. Zudem weisen die bei allen Parametern und Nutzungsintensitäten aufgetretenen hohen Streuungen um die Mittelwerte darauf hin, dass es sinnvoll und berechtigt ist, Faustzahlen mittels Korrekturfaktoren anpassen zu können, was bei der Berechnung der Düngung (Wendland et al., 2012) [5] sowie der Deckungsbeiträge im Grünland (Kubitza & Schätzl, 2013) [12] schon jetzt möglich ist. Gegenstand künftiger Untersuchungen wird es sein, diese Korrekturfaktoren weiter zu validieren und ggf. noch zu erweitern.

Für den Zeitraum 2012-2014 umfasst das Ertrags- und Nährstoffmonitoring rund 150 Flächen. Dabei ist geplant, bei künftigen Auswertungen mit einem größeren Datensatz auch zu untersuchen, ob und inwieweit sich Unterschiede zwischen unterschiedlichen Wiesentypen, Regionen und Düngungsniveaus ableiten lassen. Da die Drei- und Vierschnittwiesen schätzungsweise rund drei Viertel der bayerischen Grünlandfläche ausmachen (Diepolder, 2006; Hartmann et al., 2011) [13, 14], ist eine differenzierte Auswertung hier besonders wichtig.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Diepolder, M. Raschbacher, S., Heinz, S., Kuhn, G. (2012): Ertrags- und Nährstoffmonitoring von bayerischen Grünlandflächen. In: VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 299-306
- [2] Diepolder, M. Raschbacher, S., Heinz, S., Kuhn, G. (2013): Ertrags- und Nährstoffmonitoring von bayerischen Grünlandflächen. Schule und Beratung 2-3/2013, 57-60
- [3] Kuhn, G., Heinz, S., Mayer, F. (2011): Grünlandmonitoring Bayern – Ersterhebung der Vegetation 2002-2008. Schriftenreihe 3/2011 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
- [4] Klapp, E., Stählin, A. (1936): Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes, Ulmer-Verlag, Stuttgart, 122 Seiten
- [5] Wendland, M., Diepolder, M., Capriel, P. (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland - Gelbes Heft. 10. unveränderte Auflage 2012, LfL-Information, Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan
- [6] Köhler, B., Thurner, St., Diepolder, M., Spiekers, H. (2012): Ertragsermittlung vom Grünland mittels manueller Schnittprobe. In: VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 375-379
- [7] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2011): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Schafe, Ziegen. 34. Auflage 2011, LfL-Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.

- [8] Amberger, A. (1996): Pflanzenernährung, 4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 319 Seiten
- [9] Diepolder, M., Hege, U. (2004): Mineralstoffgehalte im Grünland. Schule und Beratung, 7/04, III-20-23
- [10] Greiner, B., Schuppenies, R., Hertwig, F., Hochberg, H., Riehl, G. (2010): Ergebnisse aus zwölfjährigen Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf Grünland. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 157-158
- [11] Diepolder, M., 2003: Aspekte zur Rolle der Schwefeldüngung im Dauergrünland. Schule und Beratung, 7/03, III-9-16
- [12] Kubitzka, P., Schätzl, R. (2012): Jahresbericht 2012 des Instituts für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, LfL; <https://www.stmelf.bayern.de/idb/>
- [13] Diepolder, M (2006): Aspekte der Grünlandnutzung in Bayern. In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 31 „Gräser und Grasland“, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München
- [14] Hartmann, St., Diepolder, M., Lichti, F. (2011): Grünland für die Biogasanlage. Bayern Biogasforum I - 12/2011, ALB Bayern e. V., Freising

## **Danksagung**

Den Autoren ist es ein Anliegen, allen am Projekt beteiligten Personen und Institutionen herzlich zu danken. Besonderer Dank gilt den beteiligten landwirtschaftlichen Betrieben für die Bereitstellung von Flächen und Daten, den Kollegen/Kolleginnen vom Landeskuatorium für pflanzliche Erzeugung (LKP e.V.) für die Beprobung und die Erhebung der Betriebsdaten vor Ort, den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die erste Kontaktaufnahme mit den Landwirten sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Finanzierung des Gesamtprojekts.

## Alternativen zu Mais im Futterbau – Aktuelle Ergebnisse von Feldversuchen in Gunstlagen

Andrea Wosnitza, Stephan Hartmann

LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 4, 85354 Freising  
Andrea.Wosnitza@LfL.bayern.de

### Zusammenfassung

Es wurden aktuelle regionalspezifische Daten zu Ertrag und Qualität von alternativen Futterpflanzen zu Silomais in einer bayerischen Gunstlage des Silomaisanbaus über einen Versuchszeitraum von drei Jahren untersucht. Dabei wurden regional empfohlene Silomaisorten mit Futtergräsern und Kleegrasgemengen, *Sorghum*-Arten (Sudangräser und Hirsen) sowie Getreide-Ganzpflanzensilagen verglichen. Die Silomaisvarianten erzielten über den Versuchszeitraum mit ca. 230 dt/ha die höchsten und konstantesten Trockenmasse-Erträge (TM) bei gleichzeitig geringer Streuung der Einzelwerte. Die TM-Erträge der *Sorghum*-Arten lagen ca. 30 – 50 dt/ha unter den Erträgen von Silomais. Zudem schwankten die Sudangräser und Hirsen sehr stark in den Erträgen und es konnten bei fast allen Varianten mit Werten weit unter 28 % keine silierfähigen Trockensubstanz-Gehalte bis zur Ernte erreicht werden. Die Kleegräser erzielten TM-Erträge auf dem Niveau von *Sorghum* jedoch auf deutlich stabilerem Niveau. In Verbindung mit gut silierbaren Trockensubstanz-Gehalten dienen sie als hochqualitative und etablierte Alternativen zu Mais für die Silage. Die Getreide-Ganzpflanzensilagen erzielten Erträge bis zu 78 % verglichen zu Silomais. Einzelne angepasste Sorten oder Mischungen der Alternativkulturen reichten bis ca. 80 % an den Ertrag des Silomais heran. Die Werte der Netto-Energie-Laktation (NEL) zeigten, dass Silomais von allen getesteten Kulturen die höchsten NEL-Werte erreichte, gefolgt von den Futtergräsern und deren Gemengen und den Getreide-GPS-Varianten, wobei es für GPS nur einjährige Ergebnisse gab. Die niedrigsten NEL-Werte zeigten die *Sorghum*-Arten. Beim Vergleich der Rohproteingehalte waren die Futtergräser den anderen Kulturen weit überlegen. Silomais, die *Sorghum*-Arten und die Getreide-GPS-Varianten hatten Rohproteingehalte, die etwa im Bereich der Hälfte der Werte der Futtergräser lagen.

### Summary

This project should generate actual regional yield and quality data over a period of three years for alternative fodder crops in comparison to maize, this includes grass and forage mixtures, varieties of silage maize, *Sorghum*/millets and whole plant silages of wheat, rye and triticale. The tested silage maize showed the highest and most reliable average yield with 23 tons per hectare dry matter, with a very low variance. The *Sorghum* and millet varieties had yields of 3 to 5 tons per hectare dry matter below silage maize but with values

fluctuating in a broad range within years and locations. With dry matter content far below 28 % there were no *Sorghum*-plots suitable for ensiling. The forage mixtures are good, stable and established second choice for silage to limited maize. They achieved high yields comparable with these of *Sorghum* but stable and with a highly suitable dry matter content for ensiling. The yield of the whole plant silages was up to 22 % lower compared with maize. But some locally adapted mixtures or varieties of the alternative crops reached a yield nearly 80 % of maize-plots. Silage maize showed the highest level of the energy content (NEL), followed by the values of the grass und forage plots and the whole plant silages. The *Sorghum*-varieties showed the lowest NEL-level of all tested cultures. The highest crude protein got the forage variants. Silage maize, *Sorghum* and the whole plant silages had values lying nearly around the 50 % mark of the fodder crops.

## 1 Einleitung

Mais ist in Bayern neben Weizen die meist angebaute Ackerkultur [1]. Aufgrund der im niederbayerischen Landkreis Passau vorherrschenden günstigen Boden-Klima-Bedingungen ist Silomais dort die meist favorisierte Feldfrucht. In der Vergangenheit wurde er auf Grund seiner Selbstverträglichkeit dort in sehr engen Fruchtfolgen bis hin zur mehrjährigen Monokultur angebaut. Seit die Region im Einwanderungsgebiet des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) liegt, ist dies problematisch. Durch den Quarantänestatus des Schädling hat sein Auftreten nicht nur mögliche Ertragseinbußen zur Folge sondern erzwingt auch die Einleitung von Ausrottungs- und Eingrenzungsmaßnahmen ([3], [4]). Dazu gehören neben dem Einsatz von Insektiziden, der Ausbringung natürlicher Feinde und soweit vorhanden, der Anbau von Sorten mit möglichst hoher Toleranz gegenüber diesem Schädling, auch die Einhaltung von Fruchtfolgen mit einem Mindestanteil anderer Kulturen. Je nach Produktionsausrichtung kann eine Einschränkung des Maisanbaues für die betroffenen Betriebe ökonomische Schäden und Benachteiligungen nach sich ziehen. Es galt diese zu quantifizieren.

Für die möglichen Alternativen Feldfutterbau (Futtergräser im Rein- und Gemengeanbau, Kleeegrasmischungen), *Sorghum*-Arten (Sudangräser/Hirsen) und Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) lagen jedoch aus den bayerischen Befallsgebieten nicht genügend Daten für exakte Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit vor.

## 2 Material und Methoden

In 2009 wurden an den Standorten Rotthalmünster, Kirchham und Egglfing in Niederbayern, Landkreis Passau, im Bodenklimaraum 116 („Gäu, Donau- und Inntal“, Tabelle 1) Feldversuche zum direkten Vergleichsanbau angelegt. Die einzelnen Standorte wurden so ausgewählt, dass sich ihre Böden geologisch unterschieden, um damit die Bodenvariation im Befallsgebiet hinreichend abzudecken. Es handelte sich um Blockanlagen mit vier Wiederholungen. Die Parzellengröße betrug für alle Kulturen 10 m<sup>2</sup>. Die Stufe „Intensität“ der Gräser-Mischungen war hierbei nur teilrandomisiert, da die „extensiven“ Varianten auf Grund des Erntemanagements an die Versuchsanlage angehängt werden mussten. Mit den „überjährigen Mischungen“ wurde ebenso verfahren. Bis auf die „mehrjährigen“ Kleeegräser rotierten alle anderen Kulturen im Anbau in den einzelnen Versuchsjahren.

**Gräser- und Kleeegrasmischungen:** Das Sortiment umfasste 15 verschiedene Versuchsglieder (Tabelle 2), die z.T. in zwei Schnitt-Intensitäten geprüft wurden. Die Intensität „in-

tensiv“ umfasste fünf Schnitte pro Jahr, „extensiv“ war auf vier Schnitte pro Jahr ausgerichtet. Die fünfschnittigen Varianten sollte qualitativ hochwertiges Grobfutter erzeugen. Die vierschnittigen Varianten waren stärker auf Quantität als auf Qualität ausgerichtet, um die Möglichkeiten einer kostengünstigen Produktion für eine Verwertung der Aufwüchse in einer Biogasanlage ausloten zu können ([7]). Um die Bedeutung standortangepasster Mischungen für den produktionstechnischen Erfolg in diesem Anbauggebiet zu quantifizieren wurden bewusst auch regional nicht empfohlene Mischungen des Qualitätssegmentes in die Prüfungen mit einbezogen.

Die Versuchsglieder 6, 7 und 8 sind sogenannte „überjährige Mischungen“, d.h. die Beerntung erfolgt im Ansaat- und ersten Hauptnutzungsjahr, danach erfolgt ein Umbruch der Parzellen.

Tab. 1: Standortparameter

| Standort                                      | Rotthalmünster                   | Kirchham              | Eggfing            |
|---|----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Höhe (über NN)                                | 360 m                            | 335 m                 | 322 m              |
| langj. Mittel Niederschlag                    | 800-850 mm                       | 800-900 mm            | 800-900 mm         |
| Mittl. Tagestemperatur                        | 7-8°C                            | 8°C                   | 8°C                |
| Bodenart                                      | sL4D                             | SL6Alg                | sL4Al              |
| Bodenzahl                                     | 70                               | 36                    | 60                 |
| Ackerzahl                                     | 68                               | 36                    | 59                 |
| Geologie                                      | Tertiäres Hügelland              | Innterrassen-schotter | Flusssandsedimente |
| Klassenbeschrieb                              | Parabraunerde aus diluvialem Löß | Braunerde             | Aueboden           |
| pH-Wert (Okt. '09)                            | 6,7                              | 6,7                   | 7,2                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g Boden) | 14                               | 54                    | 23                 |
| K <sub>2</sub> O (mg/100g Boden)              | 12                               | 27                    | 7                  |

Tab. 2: Übersicht der angebauten Gräser- und Kleegrasmischungen und deren Artenanteile

| Vgl | Mischungsbezeichnung                       | Bezug          | Artenzusammensetzung und %-Anteile |    |    |    |     |     |     |    |    |     |     | Saatstärke<br>kg/ha |     |     |      |
|-----|--|----------------|------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|---------------------|-----|-----|------|
|     |  |                | WD                                 | WB | WV | WL | WSC | FEL | WRP | KL | GL | ROT | RKL |                     | WKL | LUZ |      |
| 1   | FM 3-K                                     | BQSM           |                                    |    |    | 22 | 41  |     |     |    |    | 15  |     | 7                   | 4   | 11  | 27,0 |
| 2   | FM 4-K                                     | BQSM           | 30                                 |    |    | 15 | 37  |     |     |    |    |     |     | 11                  | 7   |     | 27,0 |
| 3   | FM 4                                       | BQSM           | 19                                 |    |    | 15 | 33  |     |     |    |    |     |     | 22                  | 11  |     | 27,0 |
| 4   | A3   | EVA II Ref [2] | 43                                 | 26 | 31 |    |     |     |     |    |    |     |     |                     |     |     | 35,0 |
| 5   | A3 mit Klee                                | EVA II Ref [2] | 29                                 | 20 | 20 |    |     |     |     |    |    |     |     | 31                  |     |     | 35,0 |
| 6   | FE 1                                       | BQSM           |                                    |    |    | 19 | 43  |     |     |    |    |     |     | 38                  |     |     | 21,0 |
| 7   | FE 3-K                                     | BQSM           |                                    | 46 | 51 |    |     |     |     |    |    |     |     | 3                   |     |     | 36,0 |
| 8   | FM 2                                       | BQSM           |                                    |    |    | 10 | 20  |     |     |    |    |     |     |                     |     | 70  | 30,0 |
| 9   | Agravit 040R                               | Advanta        | 75                                 |    |    |    |     |     |     |    |    |     |     | 15                  | 10  |     | 32,5 |
| 10  | MG8 Standard                               | Freudenberger  |                                    |    |    | 17 | 50  |     | 10  |    |    |     | 10  | 7                   | 7   |     | 30,0 |
| 11  | Country 2052                               | DSV            | 30                                 | 10 | 10 | 10 | 20  | 20  |     |    |    |     |     |                     |     |     | 35,0 |
| 12  | Landgreen KG 550                           | BSV            | 43                                 |    |    | 15 | 14  |     | 6   | 6  |    |     |     | 4                   | 7   | 5   | 30,0 |
| 13  | Intensivmischung Kleegras                  | Andreae        | 30                                 |    |    | 23 | 20  |     |     |    |    |     |     | 20                  | 8   |     | 30,0 |
| 14  | Tetrafix intensiv m. Klee                  | Stroetmann     | 60                                 |    |    |    |     |     | 30  |    |    |     |     | 5                   | 5   |     | 40,0 |
| 15  | Mehrfähr. Kleegras m. Luzerne High Quality | Dehner         | 10                                 |    |    | 15 | 10  | 45  |     |    |    | 5   |     | 5                   |     | 10  | 30,0 |

**Abkürzungen:** WD Deutsches Weidelgras WB Bastardweidelgras WV Welsches Weidelgras WSC Wiesenschwingel FEL Festulolium WRP Wiesenrispe  
 WL Wiesenlieschgras GL Glatthafer KL Knautgras ROT Rotschwingel RKL Rotklee WKL Weißklee LUZ Luzerne  
 BQSM Bayerisches Qualitätssaatgutmischung EVA II Ref Saatgutreferenz aus FNR-Projekt EVA II Wdh Wiederholung Vgl Versuchsglied

Die in den übrigen Mischungen verwendeten Sorten sind hinsichtlich Ertrag und Ausdauer ausgewählt, deren Beerntung im Ansaatjahr sowie im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr erfolgte. Die Versuchsglieder 1 bis 15 wurden „intensiv“ (5 Schnitte/a) geschnitten, Versuchsglieder 1 bis 5 wurden ergänzend für eine „extensive“ Nutzung (4 Schnitte/a) zusätzlich an die Anlage angehängt. Die Aussaat erfolgte unter die Deckfrucht Hafer (70 kg/ha), um im Ansaatjahr die Ertragserwartung auf ca. 80 % eines Hauptnutzungsjahres

ansetzen zu können ([5], [6]). Die Tabelle 2 zeigt die verschiedenen Artenanteile der einzelnen Mischungen.

**Silomais:** In Absprache mit der Arbeitsgruppe Pflanzenbausysteme und Züchtungsforschung bei Körner- und Silomais (IPZ 4a) der LfL wurden die Sorten Torres (S250), ES Bombastic (S240) und PR 39 F 58 (S260) ausgewählt, da sie über eine hohe regionale Anbauakzeptanz verfügten und zugleich unterschiedliche Reifegruppen abgedeckt wurden.

**Sorghum-Arten:** In Absprache mit der heutigen Arbeitsgruppe Biomasse (IPZ 4c) wurden vier verschiedene *Sorghum*-Sorten (Mithril, Inka (jeweils *S. sudanense* × *S. bicolor*), Sucrosorgo 506, Branco (jeweils *S. bicolor*) und zwei Artenmischungen (Energimischung (*S. sudanense* × *S. bicolor*), Sorghum spezial (div. *Sorghum*-Arten) ausgewählt, die zum Zeitpunkt des Projektbeginns für den Anbau im süddeutschen Raum empfohlen wurden bzw. in Vorversuchen vielversprechende Ergebnisse gezeigt hatten [11].

**Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS):** In Absprache mit IPZ 4c und der Arbeitsgruppe Pflanzenbausysteme bei Getreide (IPZ 2a) wurden schließlich die drei Arten Winterweizen (WW), Wintertriticale (TIW) und Winterroggen (WR) ausgewählt, da diese sich in vorangegangenen Versuchen als besonders massewüchsig herausgestellt hatten [9]. Je Art wurden zwei Sorten getestet (WW: Akratos, Inspiration, TIW: Benetto, Trisol, WR: Visello, Balistic). Die TM-Erträge wurden bei GPS nur zweijährig getestet, da schon ausreichend regionales Datenmaterial zu dieser Kultur vorhanden war. In 2010 wurde die Wintertriticale-Sorte „Trisol“ als Versuchsglied 4 getestet, weil die ursprünglich geplante Sorte kurzfristig als Saatgut nicht zur Verfügung stand. In 2011 wurde „Trisol“ gegen die bewährte Sorte „Massimo“ ausgetauscht.

Für den Zeitpunkt des ersten Schnittes der Gräser-Mischungen gab es zwei Vorgaben: Die vielschnittigen Varianten sollten zu Beginn Ähren- bzw. Rispschieben (BBCH 51), die extensiv gehaltenen Varianten zum Ende Ähren- bzw. Rispschieben (BBCH 59) geerntet werden. Die Folgeschnitte wurden diesem Schnittregime angepasst.

Die Aussaat des Getreide-GPS fand 2009 Ende Oktober statt, in 2010 Anfang Oktober. Der Zeitpunkt der Ernte wurde für die GPS-Varianten zur Mitte der Milchreife (BBCH 73-75) festgesetzt.

Die Saat des Silomais fand in den Versuchsjahren immer um den 20. April statt. Der geeignete Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) war für die Ernte bestimmend und daher fand diese im Zeitraum von Ende September bis Anfang Oktober statt.

Als wärmeliebende Kultur wurden die *Sorghum*-Arten mit Anfang Juni spät gesät. Dieser Saatzeitpunkt sollte auch auf eine mögliche Kombination mit der Vorkultur Getreide-GPS abgestimmt sein ([10]).

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Ein Vergleich des TM-Ertrages der getesteten Kulturarten über die drei Versuchsjahre und Standorte ist in Abbildung 1 dargestellt. Silomais zeigt relativ konstante TM-Erträge mit gleichzeitig geringer Streuung der Werte über die Jahre und Orte. Die restlichen Kulturen liegen von den Ergebnissen unter den Werten von Silomais, und zeigen eine mehr oder weniger starke Streuung innerhalb der einzelnen Standorte oder Jahre.

## Nettoenergie-Laktation (NEL)

**Silomais:** Die getesteten Sorten erreichten von allen getesteten Kulturen die höchsten NEL-Werte, die zwar innerhalb der einzelnen Standorte variierten aber über die Versuchsjahre auf ähnlich hohem Niveau blieben (6,86 bis 7,33 MJ NEL/kg TM, Abb. 1).

**Sorghum:** Auch hier variierten die NEL-Werte sehr wenig an den einzelnen Standorten und über alle Versuchsjahre. Die Werte reichten von 5,32 bis 5,55 MJ NEL/kg TM.

**Getreide-GPS:** Diese Varianten wurden im Vergleichsanbau zweijährig geprüft. Für 2010 stehen keine Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Verfügung, da das Pflanzenmaterial nach der TS-Bestimmung versehentlich entsorgt wurde. In 2011 waren höhere NEL-Werte erreicht worden als die der *Sorghum*-Arten. Die Werte lagen mit 5,53 bis 5,85 MJ NEL/kg TM aber niedriger als bei Silomais.

**Futtergräser und deren Gemenge:** Hier ist zwischen den intensiven, fünffach geschnittenen Varianten und den extensiven, vierfach geschnittenen und quantitativen Varianten zu unterscheiden.

Die Futtergräser und deren Gemenge erreichten die zweithöchsten NEL-Werte von allen

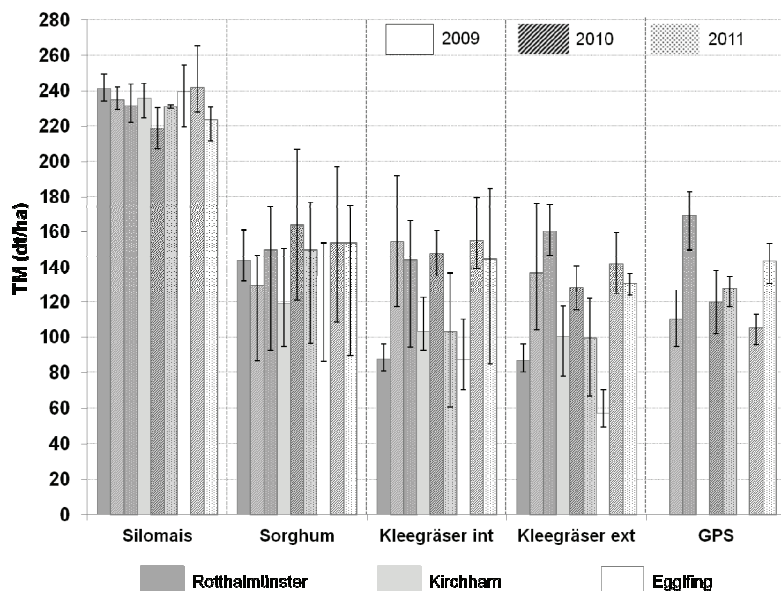


Abb. 1: Durchschnittliche TM-Erträge der geprüften Kulturen und deren Streuung (Range) über Versuchsstandorte und Jahre.

getesteten Kulturen. Sie lagen in der Höhe zwischen den Werten des Silomais und der Getreide-GPS-Varianten.

Die NEL-Werte der Futtergräser waren im Ansaatjahr 2009 allgemein niedriger als in den Folgejahren, wobei sie auch innerhalb der Standorte starke Unterschiede aufwiesen.

In Rotthalmünster und Kirchham konnten nur Werte bis 5,67 MJ NEL/kg TM erreicht werden, in Egglfing dagegen lagen sie mit 6,58 MJ/kg TM sogar um 1

MJ/kg TM höher. Die niedrigeren NEL-Werte lassen sich durch die unterschiedliche Pflanzensammensetzung an den Standorten erklären. In Rotthalmünster und Kirchham waren die Bestände sehr reich an Leguminosen, in Egglfing sank dieser Anteil bis Jahresende leicht ab, was durch den dort stark nachmineralisierenden Boden zu erklären ist. Die Spanne der Werte aller Standorte in 2009 reichten für die intensiv geschnittenen Varianten von 5,63 bis 6,58 MJ NEL/kg TM und für die extensiv geschnittenen Varianten von 5,51 bis 6,53 MJ NEL/kg TM.

Im ersten Hauptnutzungsjahr 2010 waren die Schwankungen der Energiewerte dagegen nicht sehr ausgeprägt und sie lagen allgemein auf höherem Niveau als im Vorjahr. Die

NEL-Werte bewegten sich in den intensiven Varianten von 6,36 bis 6,66 MJ NEL/kg TM, in den extensiven Varianten von 5,93 bis 6,45 MJ NEL/kg TM.

Im zweiten Hauptnutzungsjahr 2011 sanken die NEL-Werte leicht ab. Da es sich bei den Futtergräsern um eine mehrjährige Kultur handelt, zeigen Witterungseinflüsse (z.B. Auswinterung durch Kahlfröste), Bodeneinflüsse, Schädigungen durch Tiere und Unkrautdruck bei diesen Kulturen einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss und spiegeln sich in einer Veränderung der Pflanzenzusammensetzung wieder, was wiederum Auswirkungen auf die Energiedichte zur Folge hatte. In 2011 gab es nur leichte Schwankungen der NEL-Werte zwischen den Orten in den intensiven Varianten, es wurden Werte von 5,89 bis 5,93 MJ NEL/kg TM erreicht, die extensiven Varianten erzielten Werte von 5,46 bis 5,94 MJ NEL/kg TM.

### Rohproteingehalte

**Futtergräser und deren Gemenge:** Die Rohproteingehalte der Futtergräser und deren Gemenge waren im Vergleich zu den anderen Kulturen am höchsten. In 2009 konnten bei den intensiven Varianten sehr hohe Werte erreicht werden, sie beschrieben eine Spanne von 16,75 % bis 21,56 % bezogen auf die TM. Die extensiven Varianten lagen mit 14,06 % bis 19,57 % in TM unter diesen Werten (Abb. 2).

2010 konnten die hohen Rohproteingehalte des Vorjahres nicht mehr erreicht werden. Die intensiven Varianten hatten Gehalte von 15,10 % bis 16,71 %, die extensiven von 12,15 % bis 14,84 %. Am Standort Rothalmünster blieb der hohe Anteil der Leguminosen im Vergleich zum Vorjahr konstant, wobei an den Standorten Kirchham und Eggfling ein mehr oder weniger

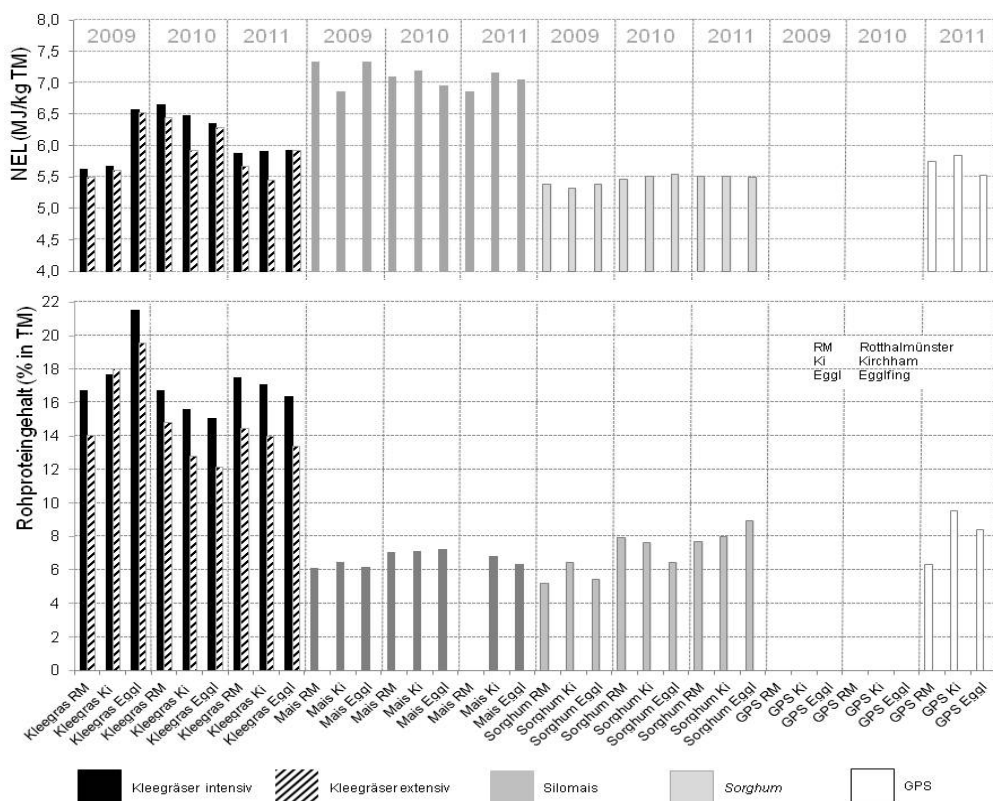


Abb. 2: Darstellung der Nettoenergie Laktation (MJ/kg TM) und des Rohproteingehaltes (% in TM) der getesteten Kulturen über Versuchsstandorte und -jahre.



langsamer Rückgang dieser Pflanzen zu erkennen war, der sich auch in niedrigeren Proteingehalten niederschlug. 2011 konnte ein ähnlicher Verlauf der Kurven wie 2010 festgestellt werden, allerdings mit leicht erhöhten Werten. Diese reichten bei den intensiven Varianten von 16,39 % bis 17,51 % und von 13,41 % bis 14,51 % bei den extensiven. Die Varianten am Standort Eggfling, inzwischen alle reine Gräserbestände, lagen an letzter Stelle.

**Silomais** erreichte nur ca. ein Drittel des Proteingehaltes, den die Futtergräser enthielten. 2009 betrug die Spanne der Proteingehalte 6,12 % bis 6,46 %, 2010 reichte sie von 7,06 % bis 7,23 % und 2011 lag sie zwischen 6,37 % und 6,82 %. Die Werte variieren zwischen den drei Sorten nur schwach. Vom Standort Rotthalmünster sind aus dem letzten Versuchsjahr keine Laborwerte zu den Rohproteingehalten vorhanden.

**Sorghum:** Diese Varianten erzielten ähnlich hohe Proteingehalte wie der Silomais. Die Werte lagen 2009 zwischen 5,19 % und 6,47 %, in 2010 erreichten sie 6,42 % bis zu 7,96 % und in 2011 konnten Proteingehalte von 7,66 % bis 8,93 % erzielt werden. Die Streuung der Werte ist allerdings stärker als bei Silomais.

**Getreide-GPS:** Wie schon bei den NEL-Ergebnissen erwähnt, liegen für diese Varianten nur Werte für 2011 vor. Sie bewegten sich im Bereich von Silomais und den *Sorghum*-Arten. Es wurden Proteingehalte von 6,32 % bis 9,53 % der TM erreicht.

Detaillierte Ergebnisse zu allen Einzelvarianten werden unter [12] veröffentlicht.

## 4 Schlussfolgerungen

An den Standort angepasstes Klee gras stellt in Gunstlagen des Maises für den Futterbau bei Fruchtfolgeauflagen als ergänzende Alternative zu Silomais eine gute Lösung vor GPS und *Sorghum* dar. Parallele Versuche der LfL zeigen, dass eine Kombination von Getreide-GPS und Klee gräsern möglicherweise noch günstiger gewesen wären ([8]).

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2012): Bayerischer Agrarbericht 2012.
- [2] Benke, M., Wilken, F. (2011): Satellitenprojekt Ackerfutter- und Grünlandmischungen im EVA II Projekt, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/biofg/fg030511.pdf>, 18.02.2013, 13:00.
- [3] Boegel, C., (2012): Westlicher Maiswurzelbohrer - Biologie und Bekämpfung, <http://www.lfl.bayern.de/ips/pflanzengesundheit/27664/index.php>, 18.02.2013, 12:03.
- [4] Bundesministeriums der Justiz (2008): Verordnung zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers (MaiswBekV), <http://www.gesetze-im-internet.de/maiswbekv/index.html>.
- [5] Keller, E. R., Hanus, H., Heyland, K.-U. (1997): Handbuch des Pflanzenbaus 1, Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion, Stuttgart (Hohenheim) Ulmer, S, 566/590.
- [6] Hartmann, S., Gehring, K., Zellner, M. (2006): Pflanzliche Erzeugung, Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus der guten fachlichen Praxis, der Verfahrenstechnik - Produk-

tions- und Verfahrenstechnik der Kulturpflanzen - Dauergrünland - Sonderkulturen - Nachwachsende Rohstoffe - Ökologischer Landbau – Feldversuchswesen - Naturschutz und Landschaftspflege; Hrsg. BLV Buchverlag, 12. Auflage, 2006, Seite 729-731.

[7] Hartmann, S., Diepolder, M., Lichti, F. (2011): Grünland als Biogassubstrat. In: Biogas Forum Bayern Nr. 1-12/2011, Hrsg. ALB Bayern e.V..

[8] Hartmann, S., Hofmann, D., Lichti, F., Gehring, K. (2011): Weidelgras-Untersaaten in Wintergetreide zur GPS-Nutzung als Biogassubstrat. In: Biogas Forum Bayern Nr. 1-16/2011, Hrsg. ALB Bayern e.V..

[9] Sticksel, E. (2010): Wintergetreide zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage als Biogassubstrat. In: Biogas Forum Bayern, Nr. I –2/2010, Hrsg. ALB Bayern e.V..

[10] Sticksel, E., Salzeder, G., Eder, J., Aigner, A. (2010): Zweikulturnutzungssystem (ZKNS) im Vergleich zu herkömmlichen Anbauverfahren. In: Biogas Forum Nr. 1-10/2010, Hrsg. ALB Bayern e.V..

[11] Zeise, K., Fritz, M. (2011): Sorghum als Biogassubstrat. In: Biogas Forum Bayern Nr. I –1/2011, Hrsg. ALB Bayern e.V..

[12] Tagungsband zur Internat. Fachtagung zum Forschungsprogramm zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers, 14.-16.11.2012 Berlin und Endbericht (in press)

## **Danksagung**

Wir danken der HLS Roththalmünster für die logistische Unterstützung des Projektes.

Die Förderung des Forschungsvorhabens erfolgte aus Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

## Effiziente Futterwirtschaft auf Betriebsebene

Brigitte Köhler<sup>(1)</sup>, Michael Diepolder<sup>(2)</sup>, Stefan Thurner<sup>(3)</sup>, Hubert Spiekers<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> LfL, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof.-Dürnwächter-Platz 3, 85586 Poing/Grub

<sup>(2)</sup> LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Lange Point 12,  
85354 Freising

<sup>(3)</sup> LfL, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising

Brigitte.Köhler@LfL.bayern.de

### Zusammenfassung

Zunehmende Flächenknappheit und steigende Futterkosten machen eine Optimierung der Futterwirtschaft immer mehr zum wirtschaftlichen Faktor für Milchviehbetriebe. In der Praxis ist nach wie vor ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der Effizienz in der Futterwirtschaft vorhanden. Hierbei kommt insbesondere der Grünlandwirtschaft eine wichtige Rolle zu. Mit einer konsequenten Mengenerfassung und einem systematischen Controlling „*vom Feld bis zum Trog*“ wird eine gezielte Steuerung in der Futterwirtschaft ermöglicht, die in der Umsetzung zu einer Minderung an Verlusten im System führt.

Anhand einer Gesamtanalyse an fünf milchviehhaltenden Lehr-, Versuchs- und Fachzentren (LVFZ) wurden die Mengen- und Nährstoffflüsse nach einem definierten Ertrags- und Mengenerfassungssystem über einen vierjährigen Zeitraum (2009-2012) auf Betriebsebene erhoben. Die TM-Erträge des Grünlands zeigen deutliche Ertragsunterschiede zwischen den Standorten, Jahren und Schlägen. Im Mittel wurden gute Grobfutter- und Gärqualitäten bei den Silagen erzielt, mit Schwankungen in den Einzeljahren. Nach der „*allin:allout*“-Methode wurden im Mittel 9 % TM-Verluste bei Grassilagen festgestellt. Aus diesen Ergebnissen konnte für die Beratung und Praxis eine „*benchmark*“ für TM-Verluste im Silo von 8 % gesetzt werden. Die Auswertungen zu den Futtermitteln verdeutlichen, dass das Leistungspotenzial des Grobfutters nicht optimal genutzt wird. Verbesserungsmaßnahmen können aus dem „*Futtercontrolling*“ der Gesamterfassung abgeleitet werden. In der Erfassung der Erträge auf Schlagebene wird ein wichtiger Schlüssel in der Umsetzung einer effizienten und nachhaltigen Grünlandbewirtschaftung gesehen, worauf aufbauend Düngung sowie Futterplanung optimiert werden können.

### Summary

Increasing shortage of agricultural land and rising feeding costs are the reasons for dairy farms, for an optimization of feed management, which is going to be evolved into economic factors increasingly. There is a considerable potential to improve the efficiency in practice, especially for feed from grassland. With guidance in feed management from “*field to trough*”, implemented with a quantification and controlling system, the reduction of losses can be realized in feed production. On farm scale an analysis of the mass and nutrient flows of five dairy farms was examined by using a defined system over a period of

2009 to 2012. The DM yields of grassland showed differences between the locations, years and plots. On average good feeding values of the ensiled material were attained from grassland with annual variations as well as good preservation qualities of the silages. Using the “*allin:allout*”-method, 9 % DM losses were determined on average from grass silages. According to the results a guideline for DM losses of 8 % can be suggested for advisory service and practice. The evaluation of the feed intake revealed, that the utilization of basic feed was not appropriate. Improving measures could be derived from the feed control ascertained by the weighing systems in the feed management. Furthermore the yields on farm land are the key of an efficient and sustainable grassland management, which should be used to optimize the fertilization and the fodder plan.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Mit steigender Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln sowie nach Substraten für die Energiegewinnung, kommt bei begrenzten Ressourcen (z.B. zunehmende Flächenknappheit, steigende Futterkosten) einer effizienten Futterwirtschaft wieder mehr an Bedeutung für die Milchviehbetriebe zu. Dies macht eine Optimierung der Futterwirtschaft mehr denn je notwendig. Zahlreiche Untersuchungen zu Futterverlusten weisen darauf hin, dass in der Praxis nach wie vor ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der Effizienz in der Futterwirtschaft vorhanden ist [1, 2, 3]. Für einen Milchviehbetrieb ist es entscheidend, wie viel qualitativ hochwertiges Grobfutter „*frei Trog*“ zur Fütterung angeboten wird [4]. Hierbei ist insbesondere das Grünland im Blickfeld zu behalten. Das Ziel, eine effizient gestaltete Futterwirtschaft in der Praxis umzusetzen, kann nur über eine gezielte Steuerung der Futterproduktion erfolgen. Um Maßnahmen zur Umsetzung abzuleiten, müssen in erster Linie die Mengen- und Nährstoffflüsse in der Futterproduktion quantitativ erfasst werden. Begleitend von einer konsequenten Verfahrensplanung und einem systematischen Controlling wird es als möglich erachtet, eine Minderung an Masse- und Nährstoffverlusten um 10 %-Punkte zu erreichen. Dieser Ansatz muss auf Betriebsebene „*vom Feld bis zum Trog*“ erfolgen und in der Praxis konsequent umgesetzt werden. Über die Quantifizierung und das Controlling kann eine verbesserte Nutzung der heimischen Eiweißpotenziale aus dem Grobfutter erzielt werden. Dabei leistet ein ganzheitlicher, d.h. fachübergreifender Forschungsansatz einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit des Nährstoffkreislaufs in Futterbaubetrieben.

## 2 Material und Methoden

Der Forschungsansatz wurde über eine Gesamtanalyse der Masse- und Nährstoffströme in Futterbaubetrieben umgesetzt. Die Gesamtsystembetrachtung erfolgte an den milchviehhaltenden LVFZ der LfL Achselschwang, Almesbach, Kringell (Ökobetrieb) und Spitalhof sowie dem Versuchsbetrieb Grub im Zeitraum von 2008 bis 2012 (Abb. 1). Die Betriebs- und Standortstrukturen der Futterbaubetriebe sind in Tab. 1 dargestellt.

Aufgrund der sehr komplexen Stoffströme in den Futterbaubetrieben wurde für die quantitative und qualitative Erfassung auf einzelbetrieblichem Niveau ein Ertrags- und Mengenerfassungssystem aufgebaut, das die wichtigsten Messstationen definiert und gleichzeitig



Abb. 1: Standorte der beteiligten Betriebe der LfL in Bayern

in die Praxis Eingang finden soll (Abb. 2). An den Messstationen (Fuhrwerkswaage und Futtermischwagen) erfolgten die Referenzmessungen zur Mengenerfassung. Zum Praxis-transfer einer Mengenerfassung wurden weitere Methoden zur Prozess-Steuerung getestet (z. B. Mengenermittlung an Erntemaschinen). Die TM-Erträge vom Grünland wurden je Betrieb (Standort) und je Jahr auf Schlagebene als Nettoertrag (ab Fuhrwerkswaage) über den vierjährigen Zeitraum erhoben. Zur Charakterisierung der Pflanzenbestände wurden anhand von Ertragsanteilschätzung nach Klapp & Stählin [5] auf repräsentativen Flächen der fünf Standorte die Wiesentypen kategorisiert [6]. Bei dem insgesamt intensiv geführten Wirtschaftsgrünland (Tab. 1) handelt es sich vorwiegend um Wiesenfuchsschwanzwiesen („*Alopecurus pratensis*“-Typ). Das Grünland wurde an allen Standorten überwiegend zur Silierung genutzt. Je nach Standort und Betriebskonzept erfolgte ein weiterer Feldfutterbau mit Silomais, Klee gras und Luzerne.

Tab. 1: Betriebs- und Standortdaten sowie Grünlandbewirtschaftung, Schnitthäufigkeit und N-Düngung (vierjähriges Mittel) an den Betriebsstandorten der Jahre 2009-2012

| Betriebe      | Tierbestände    |                 | Milchleistung<br>kg ECM <sup>3</sup> | Niederschläge<br>mm <sup>4</sup> | Grünland <sup>5</sup> |    | Schnitte<br>n | Düngungsniveau<br>(kg Gesamt-N/ha) |      |      |
|---------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|----|---------------|------------------------------------|------|------|
|               | MV <sup>1</sup> | JV <sup>2</sup> |                                      |                                  | %                     | ha |               | ges.                               | org. | min. |
| Achselschwang | 190             |                 | 9.296                                | 950-1.200                        |                       | 60 | 4-5           | 263                                | 218  | 45   |
| Hübschenried  |                 | 170             |                                      |                                  | 64                    | 90 | 4-5           | 90                                 | 56   | 29   |
| Almesbach     | 126             | 120             | 9.691                                | 680                              | 37                    | 32 | 3-4           | 281                                | 150  | 131  |
| Grub          | 120             | 125             | 9.770                                | 860                              | 45                    | 42 | 4-5           | 287                                | 123  | 164  |
| Kringell      | 70              | 65              | 8.739                                | 900-1.000                        | 46                    | 37 | 4-5           | 120                                | 120  | 0    |
| Spitalhof     | 90              | 98              | 9.546                                | 1.300                            | 100                   | 76 | 4-5           | 200                                | 152  | 48   |

<sup>1</sup>MV=Milchvieh, <sup>2</sup>JV=Jungvieh, <sup>3</sup>kg ECM pro Kuh und Jahr, <sup>4</sup>langjähriges Jahresmittel, <sup>5</sup>Grünland= %-Grünlandflächenanteil an der Grobfutterfläche.

In Koordination mit den Messstationen (Abb. 1) in den Futterbaubetrieben reichten die Bezugsgrößen in den Massenströmen von den Grobfuttererträgen „vom Schlag“, über die Erntemenge „im Silo“ bis zu den Futtermengen „am Trog“ auf der Bewertungsebene Milchvieh mit Nachzucht über den gesamten Tierbestand. Die Ertragserfassung erfolgte an der Fuhrwerkswaage mit umfangreicher Probenahme zur Bestimmung der TM und der weiteren Futterqualität sowie der Gäreignung. Zur Auswertung möglicher Veränderungen oder Verluste entlang der Futterproduktionskette wurden begleitend zur Mengenerfassung Futter- und Gärqualitätsanalysen nach Versuchsordnung durchgeführt. Jede Entnahme aus den Silos wurde mit der Waage am Futtermischwagen erfasst. Die Futtermengen aller Einzelkomponenten wurden mittels Wiegetechnik am Futtermischwagen erfasst, anhand deren Auswertungen zu Futtermischwagen, Siloverlusten und Rationskontrollen vorgenommen wurden. Anhand der täglichen Futterdaten sind Aussagen zu Grobfutterleistungen, Rohprotein (XP)-Versorgung und Futtereffizienz auf Betriebsebene möglich. Bei den Silagen wurden nach dem Prinzip der „*allin:allout*“-Methode (Differenzberechnung der einsilierten zu den entnommenen Mengen auf Siloebene) während der Entnahmezeit auf Basis der TM (wöchentliche Bestimmung am Anschnitt) die Siloverluste ermittelt.

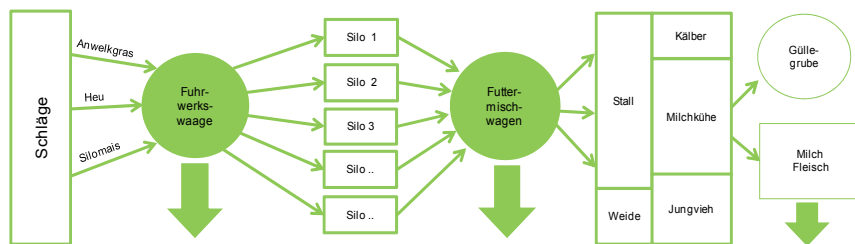


Abb. 1: Messstellen in der Futter- oder Substratwirtschaft

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### TM-Erträge vom Grünland

In Abb. 2 sind die TM-Erträge „Netto“ vom Grünland der Betriebe nach der Schnittintensität dargestellt. Im vierjährigen Mittel lagen bei den vier bis fünf Schnittwiesen die TM-Erträge in einer weiten Spanne von 60 - 100 dt TM/ha je nach Betriebsstandort. Danach erwirtschafteten bei einem N-Düngungsniveau von ca. 200-290 kg Gesamt-N/ha der Spitalhof 98 dt TM/ha, Grub 89 dt TM/ha und Achselschwang 80 dt TM/ha. Bei gleicher Schnittintensität wurden in Hübschenried mit einem geringeren N-Einsatz (90 kg N-Gesamt/ha) 60 dt TM/ha und am ökologisch wirtschaftenden Betrieb Kringell mit rund 120 kg Gesamt-N/ha rein organischer Düngung 61 dt TM/ha geerntet. Dagegen erbrachte die drei bis vier Schnittintensität am Stand-ort Almesbach 81 dt TM/ha (vierjähriges Mittel) bei einer Düngung von 281 kg Gesamt-N/ha.

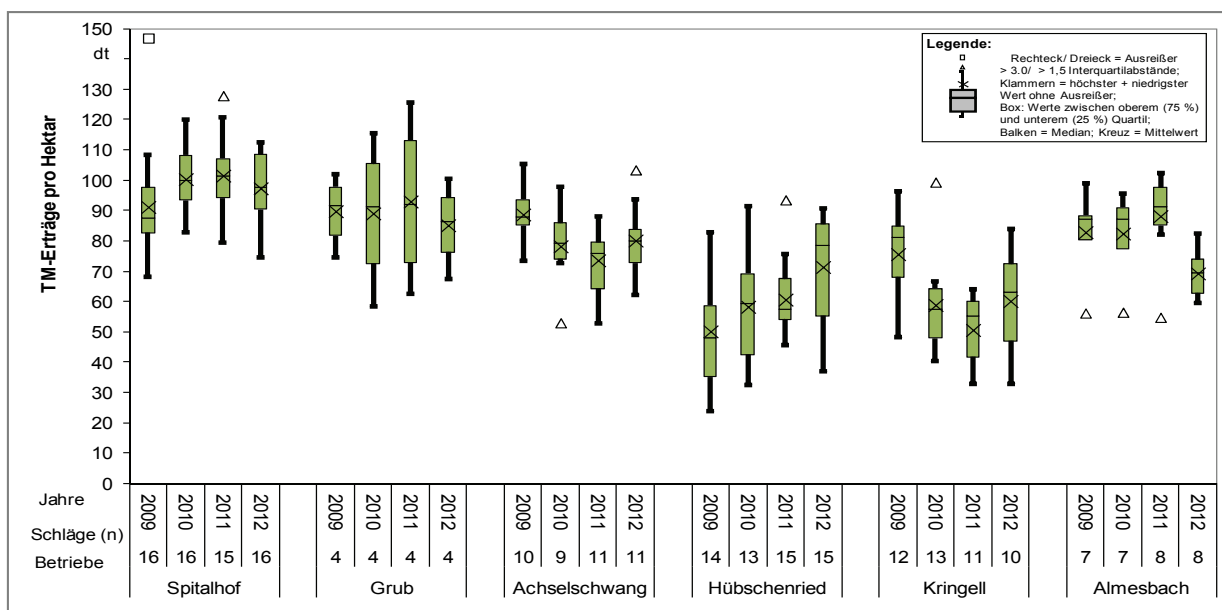


Abb. 2: TM-Erträge „Netto“ der Erntejahre 2009 bis 2012 vom Grünland der Betriebe auf Schlagebene bei 4-5 Schnitten, in Almesbach bei 3-4 Schnitten

Die auftretenden Ertragsunterschiede zwischen den Schlägen eines Betriebs sind anhand der „boxplots“ deutlich zu erkennen. Die schlagbezogene Betrachtung spiegelt die unterschiedlichen Ertragspotenziale für den jeweiligen Betrieb wieder. In dieser Ertragscharakteristik gehen sowohl die teilweise unterschiedlichem Düngungsniveaus zwischen den Schlägen (z.B. in Hübschenried) ein als auch die Ertragsunterschiede, die bei weitgehend gleichem Düngungsniveau auftreten. Solche Differenzen zwischen den Schlägen eines Be-

etriebes können bis zu 40 dt TM/ha im Jahresertrag ausmachen (Grub 2011) sowie eindeutig ertragsschwächere Schläge aufdecken (z.B. ein Schlag in Almesbach, von 2009-2011). Das Auftreten solcher Ertragsdifferenzen weist prinzipiell darauf hin, dass eine Optimierung der Grobfutterwirtschaft eine konsequente Ertrags erfassung voraussetzt. Nur auf Basis von schlagbezogenen Ertragsdaten können entzugsbasierte Düngungsmaßnahmen umgesetzt werden. Ein teilweise stark unterschiedliches Ertragsniveau trotz gleicher Schnittintensität zeigt, dass die bayerischen Faustzahlen fürs Grünland zwar im Durchschnitt eine relativ gute Ertragsschätzung ermöglichen [6], jedoch zur besseren Abbildung die entsprechenden betriebsindividuellen Gegebenheiten (z.B. Hübschenried, Kringell) durch weitere ertragsbeeinflussende Korrekturfaktoren berücksichtigen sollten. Daran wird im Rahmen des „Ertrags- und Nährstoffmonitorings bayerischer Grünlandflächen“ bereits gearbeitet [7].

Zur kontinuierlichen Umsetzung einer Ertrags erfassung in der Praxis wurden parallel zur Referenzmessung automatisierte Messtechniken an Erntemaschinen getestet. Die Ergebnisse zur Ertrags- und Feuchteermittlung am Feldhäcksler zeigen, dass im Grünland auf TM-Basis eine weitgehend zuverlässige Ertragsermittlung mit automatisierten Messtechniken bereits möglich ist [8, 9, 13].

### Grobfutterqualitäten

Die Grobfutterqualitäten vom Grünland der Betriebe wurden zum Erntezeitpunkt vom Anwelkgut als mittlere XP-, nutzbares Rohprotein(nXP)- sowie Energie-Gehalte (gewichtet nach dem TM-Ertrag je Schnitt) ausgewertet (Abb. 3). Bei den vier bis fünf Schnittvarianten zeigten sich XP-Gehalte über die Einzeljahre in einem Bereich von 144 bis 190 g XP/kg TM, bei drei bis vier schnittigem Grünland von 155 bis 181 g XP/kg TM.

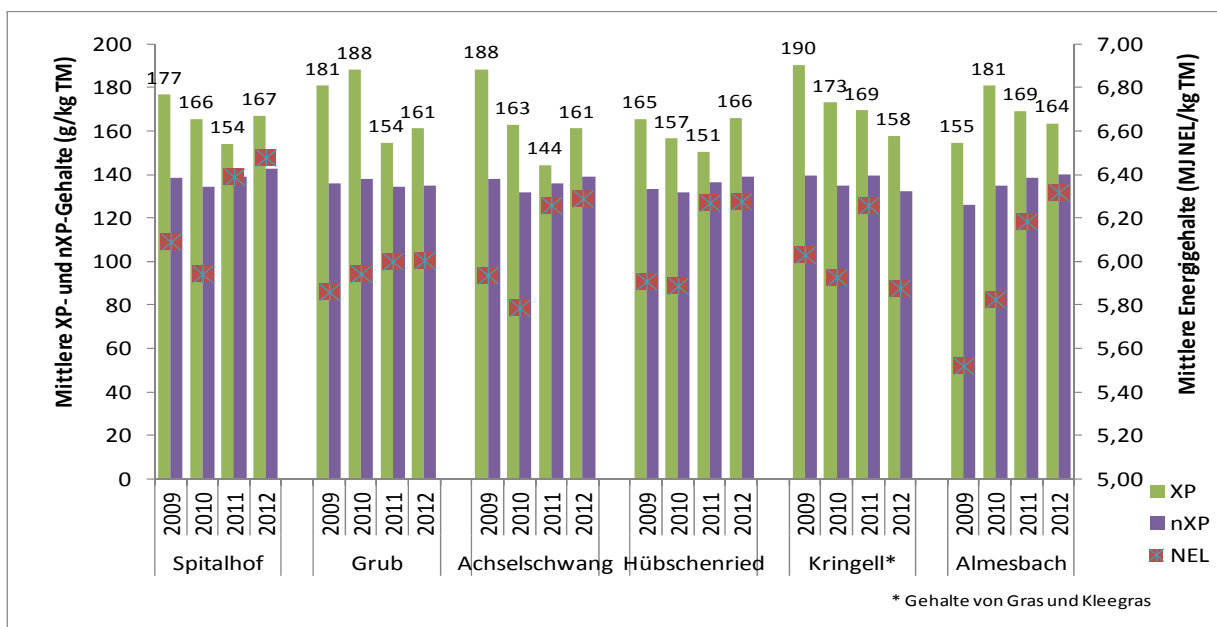


Abb. 3: Mittlere XP-, nXP- sowie Energiegehalte (gewichtet nach TM-Ertrag je Schnitt) vom Grünland der Betriebe (Kringell Analysen mit Klee gras) der Jahre 2009 bis 2012

Die großen Streuungen in den XP-Gehalten traten zwischen den Jahren deutlicher hervor als zwischen den Standorten. Für die Erzielung hoher Grobfutterqualitäten ist nach wie vor die Einhaltung des richtigen Schnittzeitpunkts entscheidend. Im vierjährigen Mittel

wurde an den Betrieben 160 bis 173 g XP/kg TM erzielt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus dem „Ertrags- und Nährstoffmonitoring“ zeigt im Mittel eine gute Übereinstimmung mit den XP-Gehalten von 163 g bis 174 g XP/kg TM bei den vier bis fünf Schnittintensitäten [7].

Für eine in der Rinderfütterung bedarfsgerechte Eiweißversorgung ist das nXP entscheidend [10]. Die erzielten mittleren nXP-Gehalte schwankten zwischen den Einzeljahren und Standorten zwischen 132 und 143 g/kg TM. Die erzielten Energiegehalte vom Grünland lagen im Mittel über alle Schnitte bei 5,5 bis 6,5 MJ NEL/kg TM. Zu erkennen waren erhöhte standortunabhängige Energiegehalte in den Jahren 2011 und 2012. Hierzu zeigen Auswertungen, dass die Betriebe mit den verbesserten Grobfutterqualitäten Kraftfutter in der Milchviehfütterung einsparen konnten [9].

### Gärqualitäten

Entscheidend für eine auf Betriebsebene optimierte Futterwirtschaft sind ein durchgängig an die Betriebsbedingungen angepasster Verfahrensablauf und ein systematisches Controlling zur Sicherung hoher Grobfutterqualitäten bis zum Trog. Mit dem Verfahren „Controlling am Silo“ [11] wurde mittels Dichtebestimmung, Temperaturmessung und Gärqualitätsanalysen eine Beurteilung der Grassilagen an den Betrieben vorgenommen.

Tab. 2: Kenngrößen zur Gärqualität der Grassilagen, Mittelwert und Standardabweichung

| n  | TM         | pH-Wert   | Milchsäure | Essigsäure | Propionsäure | Buttersäure | NH <sub>3</sub> -N |
|----|------------|-----------|------------|------------|--------------|-------------|--------------------|
|    | %          |           | g/kg TM    |            |              |             | % des N            |
| 78 | 33,1 ± 6,9 | 4,3 ± 0,3 | 60 ± 31    | 18 ± 11    | 3 ± 2        | 6 ± 6       | 5,9 ± 4,2          |

Die Gärqualitäten der Grassilagen zeigten bei vorhandener Streuung keine weiteren Auffälligkeiten und erreichten nach dem DLG-Schlüssel im Mittel überwiegend gute bis sehr gute Gärqualitäten (Tab. 2). Diese Ergebnisse können auf eine Einhaltung einer guten fachlichen Praxis beim Silieren zurückgeführt werden. Trotzdem ist in Bezug auf eine Vermeidung von Verlusten in der Praxis verstärkt auf die Zusammenhänge von Verdichtung, Vorschub und Nacherwärmungsgeschehen zu achten (siehe Silageverluste).

### Silageverluste

Insgesamt wurden 48 Silos mit Mais-, Gras- und Luzernesilagen nach der „allin:allout“-Methode (siehe Material und Methoden) auf TM-Verluste untersucht. Die Auswertung zu den Grassilagen (n=26) zeigte im Mittel 9 % TM-Verluste bei einer großen Streuung von min. -1,5 bis max. 26,3 % in der TM (Abb. 4).



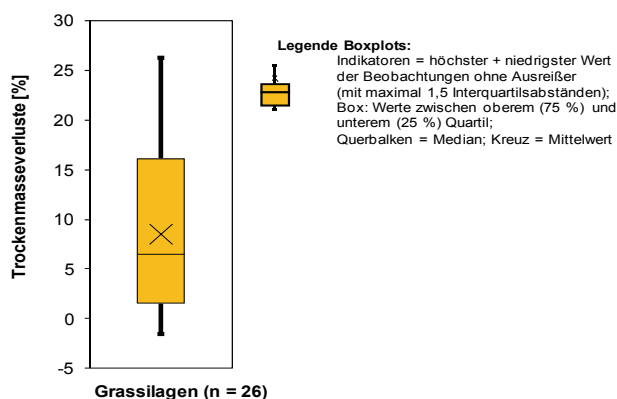


Abb. 4: TM-Verluste der Grassilagen auf Siloebene nach der „allin:allout“-Methode [12]

Tab. 3: Korrelationskoeffizienten zu den TM-Verlusten bei den Grassilagen im Vergleich zur Dichte und zum Vorschub

| TM-Verluste<br>Parameter        | Grassilagen (n=26) |             |
|---------------------------------|--------------------|-------------|
|                                 | n                  | Korrelation |
| Dichten, kg m <sup>-3</sup> TM  | 18                 | -0,039      |
| Vorschub, m Woche <sup>-1</sup> | 19                 | -0,570*     |

\*Signifikanz: 0,05 > p > 0,01

Eine negative Korrelation zeigte sich bei den Verlusten der Grassilagen in Bezug auf den Vorschub (Tab. 3). Anhand der Ergebnisse zu allen Silagen wurde für die Beratung eine „benchmark“ von max. 8 % TM-Verlusten abgeleitet. Diese Methode unter Anwendung der Wiegetechnik am Futtermischwagen ist als Hilfsmittel zur Kontrolle der Futtermengen sehr gut einsetzbar und sollte verstärkt in der Praxis Anwendung finden. Eine weitere Methode zur Erfassung des Futtermittels (bei Grassilagen) und zur Futterplanung kann über eine Silovermessung erfolgen [14]. Diese Methode (Volumenmessung mit Dichtermittlung) liefert trotz gewisser Abweichungen dem Landwirt wertvolle Informationen über seinen Futtermittelvorrat.

### Futtermittelverbräuche

Die Milchviehherde auf Hochleistungsniveau, beispielhaft an einem Betrieb dargestellt, lieferte in den Jahren 2010 bzw. 2011 9.072 bzw. 9.187 kg ECM (nach betrieblicher Milcherfassung). Von der TM-Aufnahme mit rund 19 kg TM/Kuh und Jahr wurden rund 11 kg TM über das Grobfutter des Betriebes abgedeckt (Tab. 4). Dies entspricht einem Grobfutteranteil von 58 % der TM. Die XP-Aufnahmen lagen mit 1.086 bzw. 1.091 kg XP pro Kuh und Jahr in der Größenordnung mit den DLG-Werten zur XP-Versorgung je nach Futterbasis [15]. Die XP-Versorgung wurde in den Milchviehrationen der Herde zu rund 35 %, die nXP-Versorgung zu rund 47 % aus dem Grobfutter abgedeckt. Dies ist dem hohen Maisanteil in der Grobfutterration zuzuschreiben. Die Futtereffizienz lag in den Jahren (mit Trockenstehzeit) bei konstant 1,3 kg ECM/kg TM. Aus der Gesamtanalyse, berechnet nach Energielieferung aus dem Grobfutter minus Erhaltungsbedarf (Tab. 4), erzielte der Betrieb eine Grobfutterleistung von rund 2.700 bzw. 3.000 kg ECM pro Kuh und Jahr. Dagegen zeigten sich nach der Berechnung als kraftfutterbereinigte Grobfutterleistung rund 1.800 kg ECM pro Kuh und Jahr aus dem Grobfutter. Die Basis zur Berechnung der Grobfutterleistung sollte weiter diskutiert werden. Insgesamt liegt mit 30 dt TM pro Kuh und Jahr ein relativ hoher Kraftfuttermittelverbrauch vor.

Die Futtermittelversorgung beim Jungvieh wurde zu 86 % der TM und die XP-Versorgung zu 78 % beim XP aus dem Grobfutter abgedeckt [9]. Das Grünland leistet einen wichtigen Beitrag in der grobfutterbasierten Rinderfütterung. Mit dem hohen Grünlandanteil des Betriebes und den erzielten Futterqualitäten (s. Abb.3) könnte mit einer gezielten Steuerung eine verbesserte Nutzung der Eiweißpotenziale aus dem Grobfutter und somit eine höhere Grobfutterleistung und ein geringerer Zukauf von Futtermittelprotein erzielt werden.

Tab. 4: Leistungskennzahlen aus dem Futterverbrauch 2010 und 2011 der Milchviehherde eines Betriebes

| Leistungskennzahlen             | Einheit                           | 2010  | 2011  |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|
| Milchleistung                   | kg ECM Kuh <sup>-1</sup> und Jahr | 9.187 | 9.072 |
| TM-Aufnahme                     | kg TM Kuh <sup>-1</sup> und Tag   | 19,3  | 19,1  |
| GF <sup>1</sup> -Aufnahme       | kg TM Kuh <sup>-1</sup> und Tag   | 11,2  | 10,9  |
| XP-Aufnahme                     | kg XP Kuh <sup>-1</sup> und Jahr  | 1.086 | 1.091 |
| XP i. d. Ration                 | g XP kg <sup>-1</sup> TM          | 154   | 157   |
| nXP i. d. Ration                | g nXP kg <sup>-1</sup> TM         | 154   | 154   |
| Futtereffizienz                 | kg ECM kg <sup>-1</sup> TM        | 1,3   | 1,3   |
| Kraftfuttereinsatz              | dt TM Kuh <sup>-1</sup> und Jahr  | 30    | 30    |
| Grobfutterleistung <sup>2</sup> | kg ECM Kuh <sup>-1</sup> und Jahr | 2.960 | 2.690 |

ECM (energiekorrigierte Milch)= kg Milch\*(0,38\*Fett(%)+0,21\*Eiweiß(%)+1,05)/3,28;

<sup>1</sup>GF-Aufnahme= Grobfutter-Aufnahme, <sup>2</sup>= Grobfutterleistung, berechnet aus der Energie des Grobfutters minus Erhaltungsbedarf

Der effiziente Grobfuttereinsatz beginnt bei der nutzbaren Futtermenge, d. h. dem Ertragsniveau, über reduzierte Konser-vierungsverluste bis zum Trog bis zur Vermeidung von Luxus-konsum via Rationskontrollen. Mittels einer konsequenten Mengenerfassung ist dies für das Grünland gut umsetzbar und gibt Aufschlüsse über die Flächeneffizienz je nach Betriebskonzept.

## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der Gesamtanalyse der Futterwirtschaft konnten unter Praxisbedingungen wichtige Ansätze zur Erzielung einer Effizienzsteigerung geprüft und weiter umgesetzt werden. Für eine Optimierung der Futterwirtschaft wird als Grundvoraussetzung die Etablierung eines praxisingängigen Ertrags- und Futtermengenerfassungssystems gesehen, dass von einem systematisch aufgebauten „Controlling“ zur Erzielung hoher Grobfutterqualitäten begleitend durchzuführen ist. Die hohen Ertragsunterschiede beim Grünland verdeutlichen, dass ohne eine konsequente Ertragsermittlung eine gezielte Steuerung der Futterwirtschaft nicht möglich ist. Auf Basis von schlagbezogenen Ertragsdaten verfügt der Landwirt über die Datengrundlage, die zu einer entzugsbasierten Düngung sowie zu einer exakten Futterplanung führt. Die Reduzierung von Masse- und Nährstoffverlusten innerhalb des Systems „Feld-Silo-Trog“ sollte über eine kontrollierte Mengenerfassung erfolgen. Unter Anwendung der vorhandenen Messeinrichtungen am Futtermischwagen wurde eine Methode zur Ermittlung von Silo-verlusten entwickelt, anhand deren Ergebnisse eine „benchmark“ für den Einsatz in Beratung und Praxis gesetzt wurde. Mit der Erfassbarkeit der Mengenströme beim Grobfutter ist eine ständige Kontrolle im gesamten System der Futterwirtschaft und der Fütterung möglich. Die angestrebte Minderung der Verluste um 10 %-Punkte hat sich als realistisch erwiesen. Mit der Etablierung des praxisingängigen Erfassungssystems in der Futterwirtschaft wird ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit der Nährstoffkreisläufe in den Futterbaubetrieben geleistet. Die weitere Umsetzung im Rahmen der Verbundberatung ist anzustreben.

## Danksagung

Für die aktive Unterstützung aller Projektbeteiligten und die Förderung durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten bedanken wir uns recht herzlich.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Sauter, J., Latsch, R. (2008): Bröckelverluste beim Raufutter. In: Informationstag Landtechnik, 13./14.10.2008. Forschungsanstalt ART Tänikon, 2-27.
- [2] Zimmer, E. (1980): Efficient silage systems. Proceedings of the British Grassland Society Occasional Symposium No 11 Brighton, UK, 186-197.
- [3] Spiekers, H. (2008): Rentable Milchproduktion bei steigenden Futterkosten. In Milchproduktion in Bayern. Ein Betriebszweig steht vor Herausforderungen. BayStMELF München, Tagungsband 30, 29-36.
- [4] Spiekers, H., Köhler, B. (2010): Mehr Netto vom Brutto - Effizienz der Futterwirtschaft verbessern! In: Milchviehhaltung Erfolgsfaktoren für Spitzenbetriebe. Trendreport Spitzenbetriebe 2010 DLG e.V., Frankfurt a.M., 91-98.
- [5] Klapp, E., Stählin, A. (1936): Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes, Ulmer-Verlag, Stuttgart, 122 Seiten.
- [6] Wendland, M., Diepolder, M., Capriel, P. (2011): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland - Gelbes Heft 09. Unveränderte Auflage 2011, LfL-Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.
- [7] Diepolder, M., Raschbacher, S., Heinz, S., Kuhn, G. (2013): Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen. In: Wissenschaftstagung der LfL, 4. Juli 2013, LfL-Schriftenreihe ...2013.
- [8] Thurner, S., Fröhner, A., Köhler, B., Demmel, M. (2011): Online measurement of yield and dry matter content of wilted grass with two forage harvesters - comparison with and verification of reference measurements. In: Precision Agriculture 2011, Ed. J.V. Stafford, 8th European conference on Precision Agriculture 2011, Prague, Czech Republic, 628-637.
- [9] Köhler, B., Diepolder, M., Thurner, S., Spiekers, H. (2013): Effiziente Futterwirtschaft und Nährstoffflüsse in Futterbaubetrieben. LfL Projektendbericht, bisher unveröffentlicht, 04/2013.
- [10] DLG (2011): Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung. Frankfurt a.M., DLG-Verlag, 416 Seiten.
- [11] Richter, W., Zimmermann, N., Abriel, M., Schuster, M., Kölln-Höllrigl, K., Ostertag, J., Meyer, K., Bauer, J., Spiekers, H. (2009): Hygiene bayerischer Silagen: Validierung einer Checkliste zum Controlling am Silo. LfL-Schriftenreihe 9, 130 Seiten.
- [12] Köhler, B., Diepolder, M., Ostertag, J., Thurner, S., Spiekers, H. (2013): Dry matter losses of grass, lucerne and maize silages in bunker silos. Agricultural and Food Science, special issue of the XVI International Silage Conference in Hämeenlinna, Finland, Vol. 22 No.1, 2013, 145-150.

- [13] Köhler, B., Spiekers, H., Diepolder, M., Thurner, S. (2011): Ertragserfassung als Voraussetzung für eine effiziente Grünlandnutzung. In: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 12, 92-97.
- [14] Gaigl, J., Köhler, B., Spiekers, H. (2012): Silovermessung - eine Alternative zum Wiegen? In: Schule und Beratung Heft 11-12/2012, 43-45.
- [15] DLG (2005): Bilanzierung der Nährstoffausscheidung landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG Band 199, DLG-Verlag, Frankfurt a.M.

## Weide zur effizienten Grünlandnutzung

Siegfried Steinberger, Hubert Spiekers

LfL, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Prof-Dürrewächter-Platz 3, D-85586 Poing-Grub

Siegfried.Steinberger@LfL.bayern.de

### Zusammenfassung

Im Rahmen des Pilotprojektes „Vollweide mit Winterkalbung“ wurde über fünf Jahre das System der Vollweidehaltung mit Kurzrasenweide in Kombination mit einer saisonalen Abkalbung in den Wintermonaten auf 6 Milchkuh- und 4 Mutterkuhbetrieben untersucht.

Die Gesamtweidedauer während der Vegetation betrug bei allen beteiligten Betrieben knapp 200 Tage. Unterschiede ergaben sich je nach Wachstumsbedingungen der Weideflächen und deren Verfügbarkeit in den Vollweidetagen – ohne Zufütterung. Hier lag die Streuung der einzelnen Jahre bei 137 bis 192 Tagen. Vor allem die Verfügbarkeit ausreichender Weideflächen im Spätsommer entschied über die Dauer der Vollweideperiode.

Die Milchleistung der beteiligten Betriebe konnte trotz Umstellung auf saisonale Abkalbung sowie der Umsetzung der Vollweide weitgehend konstant gehalten werden. Zu Projektende wiesen die Betriebe Leistungen von 6.000 – 7.000 kg Milch je Kuh und Jahr auf. Der Kraftfutterverbrauch je Kuh und Jahr betrug zwischen 7,0 und 9,2 dt. Nach Abzug des energetischen Milcherzeugungswertes (2,1 kg Milch/kg) ergaben sich Grobfutterleistungen von 4.400 bis 4.900 kg Milch je Kuh und Jahr. Nach erfolgter Umstellung konnten in den Jahren 2009 und 2010 in der Vollweideperiode Aufnahmen von 15 – 17 kg TM je Kuh und Tag berechnet werden, bei 18 – 22 kg Milch je Tag aus Weidegras. Die berechneten Milcherträge je ha beweideter Fläche erreichten je nach betrieblichen Voraussetzungen und Jahr 6.000 – 12.000 kg Milch.

Im Mittel der Jahre ergaben sich „gefressene“ Energieerträge von 40.000 bis 70.000 MJ NEL/ha. Daraus abgeleitet ergaben sich für die Betriebe tatsächlich „gefressene“ Erträge von 60 bis 110 dt TM/ha. Die Differenzen lagen in den unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen sowie den natürlichen Wachstumsvoraussetzungen begründet.

### Summary

In the present study, the feeding system “permanent grazed short lawn pasture” combined with a seasonal blocked calving period in the winter was investigated. Data were collected over a period of 5 years at 6 dairy farms and 4 farms with suckler cows.

As a mean of all farms involved in the study, total grazing period was about 200 days/year. Number of days on which cows were grazed over the whole day without supplementary feeding varied depending on growing conditions on the different farms and

years from 137 to 192 days. The duration of this whole day grazing period was mainly determined by the availability of pasture utilizable for grazing at the end of the summer.

Despite of the switch to the seasonal blocked calving system and introduction of the whole day grazing system, the mean herd performance remained rather unchanged. At the end of the project, mean herd performance was about 6,000 – 7,000 kg/cow and year. Mean consumption of concentrates varied from 7.0 to 9.2 quintals/cow and year. After distraction of milk produced from concentrates (2.1 kg milk/kg concentrates), milk produced from roughage consumption was calculated to vary from 4,400 to 4,900 kg/year. Mean total dry matter intake during the total day grazing period (years 2009 and 2010) was calculated to be 15 - 17 kg/day and cow. This corresponds to a daily milk yield of 18 – 22 kg produced from the grazed grass. Depending on the respective conditions on the individual farms, the milk yield in relation to the area used for grazing was 6,000 – 12,000 kg/hectare and year.

Energy yield necessary for maintenance and observed milk yield was calculated to be 40,000 to 70,000 MJ NEL/ha. This corresponds to a „eaten“ grass yield of 6 to 11 t DM/hectare. Differences between farms are a result of different types of management as well as different locational conditions.

## 1 Einleitung

Die Versorgung der Weidetiere während der Vegetationsperiode ausschließlich mit Weidegras (Vollweidehaltung) war in den Grünlandregionen bis in die 70er Jahre durchaus üblich. Auch eine saisonale Abkalbung in den Wintermonaten wurde in den Weideregionen als selbstverständlich angesehen. Seit dieser Zeit ist ein kontinuierlicher Rückgang der Weidehaltung allgemein und der Vollweidehaltung im Speziellen zu beobachten. Die übliche high-cost-Strategie hat eine maximale Verwertung des Stallplatzes zum Ziel. Alternativ sind low-cost-Strategien insbesondere mit Weidegang erfolgversprechend (Spiekers et al., 2009) [2]. In der Schweiz und Österreich liefen in der Vergangenheit Projekte zur weidebasierten Milcherzeugung mit saisonaler Abkalbung. Thomet et al. (2004) [3] sowie Steinwider et al. (2010) [4] und Horn et al. (2013) [12] führten ihre Untersuchungen auf der Basis Vollweide ohne nennenswerte Zufütterung (< 15 % der TM) durch. Insgesamt wurden geringere Milchleistungen je Tier bei verbesserter Futtereffizienz erzielt (Thomet et al., 2011) [13]. Eine Arbeit von Bargo et al. (2003) [5] beschreibt den Effekt der Verdrängung von Weidegras durch Zufütterung. Durch die Zufütterung von Grobfutter konnte eine Verdrängung des Weidegrases von nahezu 1:1 festgestellt werden. Häusler et al. (2008) [6] konnten durch Zufütterung von Maissilage im Vergleich zur Vollweide eine geringe Mehrleistung (+ 180 kg Milch) während der Weideperiode feststellen. Die Verabreichung von durchschnittlich 3,5 kg TM Kraftfutter je Tag zeigte keine Effekte. Die Vorlage von 3,5 kg Heu führte zu einer merklichen Minderleistung von 750 kg Milch während der Weidezeit. Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen an der Ökomilchviehherde in Haus Riswick, Kleve, ergaben bei Kurzrasenweide Flächenleistungen von über 10.000 kg Milch je Hektar Weidegras (Pries et al., 2010) [7]. Die kontinuierliche Bereitstellung und Nutzung von hochverdaulichem Weideaufwuchs stellen die Eckpfeiler einer effizienten Weidewirtschaft dar.

In typischen Weideländern wie Neuseeland oder Irland werden überwiegend die Weideformen der intensiven Umtriebsweide bzw. der intensiven Standweide (Kurzrasenweide) angewandt. Da die intensive Umtriebsweide mit relativ viel Zaunaufwand (Koppelung) und Triebwegen verbunden ist, hat sich die Kurzrasenweide als vorteilhaft erwiesen.

Grundvoraussetzung zum Gelingen der Kurzrasenweide ist das Einhalten einer Aufwuchshöhe von 5 – 7 cm (Deckelmethode, Steinberger et al. (2012) [1]). Dadurch kann ein weitgehend konstantes Weidefutterangebot erreicht werden, was sich in einer ausgesprochenen Stoffwechselstabilität der Kühe widerspiegelt. Die angeführten Ergebnisse und die Nachfrage der Praxis führten zur Einrichtung eines Pilotvorhabens „Vollweide mit Winterkalbung“. Ziel war die Erarbeitung eines Systems, dass die Anforderungen der Praxis mit den bisherigen Erkenntnissen optimal verbindet. Aufgrund der unter bayerischen Verhältnissen begrenzten Weideperiode, der langen Winterzeit und die relativ hohe Kostenbelastung für Stall, Fläche etc. wurde ein Abkalbezeitraum in den Monaten November bis Februar angestrebt. Dadurch kann die Leistungsspitze bei effizienten Kraftfuttereinsatz zu Laktationsbeginn im Stall ermolken werden (Thomet et al., 2011) [13]. Zu Weidebeginn weisen die Tiere eine dem Weideangebot entsprechende Milchleistung auf.

## 2 Material und Methoden

Sechs private Milchviehbetriebe, zwei Mutterkuhbetriebe sowie die Mutterkuhherden der Landwirtschaftlichen Lehranstalten (LLA) Bayreuth und des Lehr-, Versuchs- und Fachzentrums (LVFZ) Kringell wurden in die vorliegende Untersuchung einbezogen. Von den Milchviehbetrieben wirtschafteten zu Beginn des Projektes vier Betriebe nach den Vorgaben des ökologischen Landbaus. Die privaten Mutterkuhbetriebe waren ebenfalls einem Ökoverband angeschlossen. Die Privatbetriebe liegen im oberbayerischen Grünlandgürtel, die Mutterkuhherde der LLA in Oberfranken (Nordbayern) und die des LVFZ Kringell im bayerischen Wald (Ostbayern).

Ziel des Projektes war die Überprüfung der Machbarkeit und Bewertung des Systems unter bayerischen Bedingungen sowie die Ableitung von Empfehlung für die Praxis und die Beratung.

Zunächst stand die Einführung des neuen Weidesystems Kurzrasenweide im Vordergrund. Während der Projektlaufzeit von 2006 - 2010 wurden die Betriebe in der Weideperiode wöchentlich besucht und in der Weideführung intensiv begleitet. In einem weiteren Schritt wurden die Betriebe auf eine saisonale Abkalbung mit Schwerpunkt in den Monaten November bis Februar umgestellt. Es wurden regelmäßig relevante Daten zur Weideführung (Aufwuchshöhe, Flächenzuteilung), zur Körperkonditionsentwicklung und Milchleistung (LKV-Bayern, Milchprüfing) erhoben. Auf den Mutterkuhbetrieben konnten die tierischen Leistungen anhand von Wiegen erhoben werden. Zur weiteren Information wird auf den Abschlussbericht (Steinberger et al. (2012) [1]) verwiesen.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Weide als effiziente Grünlandnutzung kann aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. Das Augenmerk ist zunächst auf eine effiziente Nutzung des Aufwuchses, also des Weidegrases zu richten. Während in der Stallhaltung die Betrachtungsweise aufgrund der beschränkten Plätze bevorzugt auf Milchleistung je Kuh/Stallplatz gelegt wird, muss sich bei einer konsequenten Weidehaltung der Focus auf die erzielte Milchmenge je Hektar Weide richten. Dies ist deshalb der Fall, da bei einer optimierten Weidehaltung keine wesentlichen Kosten für Ernte und Futtermittel anfallen. Die Kosten je ha Weide sind weitgehend unabhängig von der Milchleistung je Kuh. Je höher die erzielte Milchmenge je ha Weide umso wirtschaftlicher wird die Weide. Da bei der Weidehaltung keine Kosten

für die Ernte anfallen muss kein „Mindestertrag pro Schnitt“ für die Rentabilität der Maßnahme abgewartet werden. Somit ist es möglich den optimalen Nutzungszeitpunkt hinsichtlich Verdaulichkeit des Aufwuchses zu nutzen und nachfolgend den Energieertrag je Hektar zu optimieren. So kann bereits zu Vegetationsbeginn mit dem Austrieb begonnen werden. Dabei wird bereits früh hochverdauliches Gras genutzt und eine möglichst lange Weidezeit realisiert. Eine optimale Umwandlung der gewachsenen Biomasse in tierische Produkte je Hektar bedingt eine vollständige Aufnahme des Weidefutters. Der Weiderest auf der Fläche muss dabei minimiert werden. Eine knappe Flächenvorgabe minimiert die Futterreste und sorgt für gleichbleibend hohe Futterqualität.

Grünlandaufwuchs im Blattstadium weist eine sehr hohe Verdaulichkeit der organischen Substanz auf. Diese kann bis zu über 80 % betragen. Der Stängelanteil enthält zunehmend Gerüstsubstanz (Faser) zur Stabilität der Pflanzen. Je älter der Aufwuchs wird, umso höher ist der Anteil an schlechter verdaulicher Faser umso geringer ist der zu verwertende Energiegehalt. Bei der Schnittnutzung ist deshalb der optimale Zeitpunkt zwischen abnehmenden Energiegehalt und zunehmenden Ertrag zu finden, da es sich aus wirtschaftlicher Sicht nicht lohnen würde, die Gräser im Blattstadium zu schneiden. Das System der Kurzrasenweide versucht den Bestand über die gesamte Weideperiode im Blattstadium zu führen. Dadurch ergibt sich ein gleichmäßiger Bestand bezüglich Qualität und eine hohe Konstanz in der Fütterung, was zu einer verbesserten Stoffwechselstabilität der Tiere führt.

Neuere Verdauungsversuche an Hammeln in Haus Riswick (Pries und Menke, 2011) [8] belegen die hohe Verdaulichkeit der organischen Masse von sehr kurzem (< 8 cm) Gras. Frühjahrsaufwüchse erreichen dabei Energiegehalte von 7,4 MJ NEL/kg TM. Während der Sommermonate kommt es zu einem Rückgang auf 6,4 MJ NEL/kg TM wobei in den Herbstmonaten wieder ein Anstieg zu beobachten ist. Dreijährige Aufwuchsuntersuchungen einer Kurzrasenweide an den LLA in Bayreuth bestätigen diese Ergebnisse in der Praxis (Steinberger et al., 2012) [1].

Weidegras befindet sich zu Beginn des Schossens im 3 - Blattstadium. Mit der Bildung des vierten Blattes geht die Stängelbildung einher. Da der Stängel zur Stabilität überwiegend aus Gerüstsubstanz besteht, geht mit zunehmendem Wachstum die Verdaulichkeit zurück. Gleichzeitig stirbt das unterste Blatt wieder ab, so dass Gräser mit kontinuierlichem Wachstum immer nur drei funktionsfähige Blätter besitzen. Das Absterben des untersten Blattes ist mit einem Futterverlust gleichzusetzen (Schleip und Schnyder, 2011) [9].

Ziel einer auf Effizienz ausgerichteten Weidewirtschaft muss es sein, während der gesamten Weideperiode einen angepassten Weidedruck auszuüben um einerseits die Gräser im 2,5 – 3 Blattstadium zu nutzen und andererseits die Tiere anzuhalten, den gesamten Aufwuchs zu fressen. Eine Untersuchung aus Neuseeland (Mc Donalds et al., 2008) [10] zeigt die Zusammenhänge zwischen Besatzstärke/ha und den zu erzielenden Energieerträgen je Hektar Weide. Je höher die Besatzstärke je Hektar desto niedriger ist die Einzeltierleistung und umso höher ist die verwertete Futterenergie je Hektar. Höhere Besatzstärke bedeutet kürzeres Gras mit höherer Verdaulichkeit und geringere Futterverluste.

Mittels der bekannten Größen durchschnittlicher Kuhbesatz je Hektar und erzeugte Milchmenge je Hektar Weide (jeweils abzüglich der Zufütterung) kann eine Berechnung der genutzten Energieerträge für Erhaltung und Milch je Hektar vorgenommen werden. Von besonderer Bedeutung bei der Betrachtung der Energieerträge je Hektar Weide ist die



Tatsache, dass diese Erträge weitgehend ohne zusätzlichen energetischen Aufwand erwirtschaftet wurden. Es wurde mit wenigen Ausnahmen keinerlei maschinelle Pflegemaßnahme auf der Fläche durchgeführt, die gesamte Erntekette für 4 – 6 Schnitte entfiel. Zudem musste für diese „Erntemengen“ kein Lager vorgehalten werden. Zusätzlich entfielen die Futterentnahme aus dem Silo und die Futtervorlage im Stall.

Eine interessante Betrachtungsweise ergibt sich, wenn die so ermittelten Energieerträge der Kurzrasenweide über Schnittnutzung unter Berücksichtigung entsprechender Ernteverluste, Silierverluste, Verderb und Futterreste kalkuliert werden.

Tabelle 1 zeigt die im Mittel der Jahre 2006 -2010 über den Erhaltungsbedarf und den Leistungsbedarf der Kühe ermittelten Netto – Energieertrag je Hektar Kurzrasenweide. Bei einer unterstellten durchschnittlichen Energiekonzentration des Weidegrases von 6,5 MJ NEL/kg TM (Horn et al., 2013) [12] ergibt sich ein Nettoertrag von 60 – 105 dt/ha. Diese Hektarerträge sind unter Berücksichtigung der Höhenlage und der Bewirtschaftungsform der jeweiligen Betriebe als realistisch zu erachten. Wird bei einer optimal geführten Kurzrasenweide ein Weideverlust von 5 % unterstellt ergeben sich Bruttoerträge je Hektar Weide von 63 – 110 dt. Damit nun über eine Schnittnutzung (4 – 5 Schnitte) bei einer durchschnittlichen Energiekonzentration über alle Schnitte von 6,0 MJ NEL/kg TM die gleichen Energieerträge je Hektar erzielt werden sind Nettoerträge von 65 bis 114 dt/ha notwendig. Da es sich bei den Weideerträgen um tatsächlich gefressene Erträge handelt, sind bei der Schnittvariante noch 20 % Verluste in Form von Feld- (5 %), Silier- (8 %) und Futterverlusten (7 %) zu berücksichtigen. Im Projekt „Effiziente Futterwirtschaft und Nährstoffflüsse in Futterbaubetrieben“ der LfL wurden Silierverluste im Bereich von 10 % der Trockenmasse festgestellt (Köhler et al., 2013) [11].

Tab. 1: Errechnete Energie- und Massenerträge je Hektar Kurzrasenweide (KRW) und die dafür notwendigen Erträge unter Schnittnutzung

| Verfahren    | Kurzrasenweide     |       |                             | Schnittnutzung*             |  |
|--------------|--------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|--|
|              | berechneter Ertrag |       |                             | notwendiger Ertrag in dt/ha |  |
|              | Nettoertrag/ha     |       | Brutto + 5%<br>Weideverlust | Nettoertrag/ha              | 20 % Verlust<br>(Feld, Silierung,<br>Futter) |
| MJ NEL/kg TM | 6,5                |       |                             | 6,0 über alle Schnitte      |  |
| Betrieb      | MJ NEL             | dt/ha | dt/ha                       | dt/ha                       | dt/ha  |
| A            | <b>49.408</b>      | 76    | <b>80</b>                   | 82                          | <b>99</b>                                    |
| B            | <b>59.059</b>      | 91    | <b>95</b>                   | 98                          | <b>118</b>                                   |
| C            | <b>39.089</b>      | 60    | <b>63</b>                   | 65                          | <b>78</b>                                    |
| D            | <b>57.197</b>      | 88    | <b>92</b>                   | 95                          | <b>114</b>                                   |
| E            | <b>68.242</b>      | 105   | <b>110</b>                  | 114                         | <b>136</b>                                   |
| F            | <b>51.694</b>      | 80    | <b>84</b>                   | 86                          | <b>103</b>                                   |

\* Ziel: gleiche Energieerträge je Hektar

Je nach genetischer Leistungsveranlagung und einzelbetrieblichen Zielen ist eine Abkalbung in den Wintermonaten zu empfehlen. Somit ist eine leistungsgerechte Energieversorgung zu Laktationsbeginn möglich und zusätzliche Stressfaktoren wie Futterwechsel oder Witterungsschwankungen werden in der kritischen Zeit nach der Kalbung vermieden. Dies steigert insgesamt das Tierwohl und wirkt sich vor allem auf das nachfolgende Fruchtbarkeitsgeschehen positiv aus. Die Wahl des Kalbetermins ermöglicht zudem bei begrenzter Futterfläche eine bessere Ausnutzung der betrieblichen Milchquote (Steinberger et al., 2012 [1], Horn et al., 2013 [12], Thomet et al., 2011[13]). Es sind daher vor allem fruchtbare Tiere erforderlich damit der saisonale Zyklus eingehalten werden kann. Die daraus resultierende angepasste Milchleistung zu Weidebeginn ermöglicht eine tierfreundliche und effiziente Grünlandnutzung zum optimalen Zeitpunkt mit minimalen Weideresten. Die Pilotbetriebe des Weideprojektes erreichten nach erfolgreicher Umstellung während der Vollweidezeit (140-190 Tage) eine mittlere Milchmenge von etwa 18 – 22 kg Milch je Kuh und Tag aus Weidegras. Je Hektar Weidegras erzielten die Betriebe eine Milchmenge von 6.000 – 12.000 kg Milch (Steinberger et al., 2012) [1] (Abb.1).

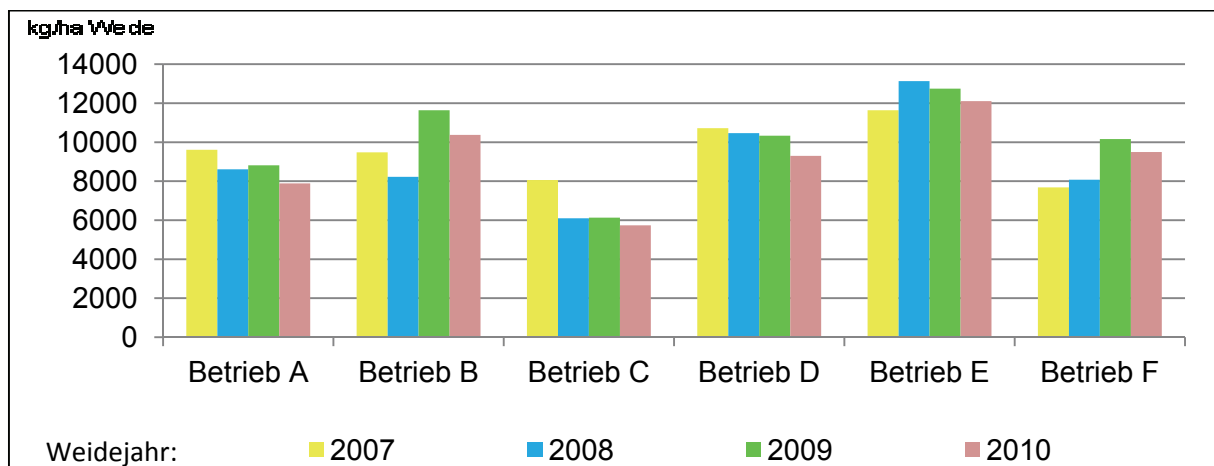


Abb. 1: Erzeugte Milchmenge je Hektar Weide der Pilotbetriebe; abzüglich Zufütterung

Eine konsequent durchgeführte Kurzrasenweide ermöglicht auch in der Fleischrinderhaltung (Steinberger et al., 2012 [1]) bzw. in der Jungrinderaufzucht (Steinberger et al., 2012 [15]) eine effiziente Weidenutzung. In Tabelle 2 sind die errechneten Energieerträge und die erzielten Zuwächse je Hektar Weide dargestellt.

Tab. 2: Errechnete Energieerträge und gemessene Körpermassenzuwächse je Hektar Weide

| Verfahren       | Mutterkuh*  | Jungrind** |
|-----------------|-------------|------------|
| Anzahl Betriebe | 2           | 1          |
| Zeitraum        | 2007 - 2009 | 2011       |
| MJ NEL/ha       | 54.000      | 64.000     |
| kg Zuwachs/ha   | 460         | 840        |

\* ökologisch, Angus, \*\* konventionell, Fleckvieh

Der erheblich höhere Zuwachs je Hektar in der Jungrinderaufzucht ergibt sich einerseits durch das höhere Ertragspotential der Weide und andererseits „verbraucht“ die Mutterkuh eine nicht unerhebliche Futterenergie für Erhaltung.

Nach Einführung der Kurzrasenweide in der Jungrinderaufzucht stellte das Erreichen eines notwendigen Erstkalbealters von 24 – 26 Monaten für die Betriebe keine Schwierigkeit dar (Steinberger et al., 2012) [1].

## 4 Schlussfolgerungen

Mit der Einführung der „Vollweide mit Winterkalbung“ wurde auf den Pilotbetrieben absolutes Neuland betreten.

Zur optimalen Umsetzung des Systems bedarf es einer fruchtbaren Kuh bei angemessener Milchleistungsveranlagung und ein konsequentes Handeln des Betriebsleiters in der Herden- und Weideführung. Das Weidesystem „Kurzrasenweide“ stellt in der Gesamtheit be-

trachtet das effizienteste Weidesystem dar. Das kontinuierliche Abweiden von jungem Gras ermöglicht eine hohe Flächenleistung. Je nach betrieblicher Ausgangslage wurden im Milchviehbetrieb Flächenleistungen von 6.000 bis 12.000 kg ECM je Hektar beweidete Fläche erreicht. Die errechneten Energieerträge (MJ NEL je Hektar, aus Milchleistung/Zuwachs und Erhaltungsbedarf) der Kurzrasenweide lagen über den betriebsspezifisch zu erreichenden Erträgen bei Schnittnutzung.

Die Umstellung auf eine saisonale Abkalbung brachte für die Betriebsleiter große Vorteile. Anfallende Arbeitsabläufe ließen sich rationalisieren. Die konzentrierten Arbeitsblöcke (Weide, Abkalbung, Kälberaufzucht, Besamung etc.) führten zu einer strukturierteren Arbeitserledigung.

Für die Mutterkuhhaltung ist die Vollweidehaltung auf Kurzrasenweide mit Winterkalbung die optimale Grünlandnutzung. Für Milchviehbetriebe stellt die Vollweide mit Winterkalbung für Betriebe welche Weide betreiben wollen und die betrieblichen Voraussetzungen (arrondierte Flächen) gegeben sind eine wirtschaftliche Alternative dar (Steinberger et al., 2012) [1]. Unabhängig von einer saisonalen Kalbeperiode eignet sich die Kurzrasenweide ideal zur Jungrinderaufzucht. Zur Gesamtbetrachtung des Systems sind zusätzliche Erhebungen zur Winterfütterung und den dafür benötigten Futterflächen erforderlich (Hofstetter et al., 2011) [14]. Die Arbeiten zur Weide werden im Rahmen des Arbeitsschwerpunktes „Effiziente und nachhaltige Grünlandbewirtschaftung“ fortgeführt.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Steinberger S., Rauch P., Spiekers H., Hoffmann G., Dorfner G. (2012). Vollweide mit Winterkalbung, Ergebnisse von Pilotbetrieben, Schriftenreihe der LfL 5/2012, 102 Seiten
- [2] Spiekers H., Dorfner G., Diepolder M. (2009). Effiziente und nachhaltige Grünlandnutzung mit Rindern im Alpenvorland, VDLUFA Schriftenreihe 65, 131 – 143
- [3] Thomet P., Leuenberger S., Blaetter T. (2004). Produktionspotenzial des Vollweidesystems, AGRAR Forschung 11, 336 - 341
- [4] Steinwider A., Starz W., Podstatzky L., Gasteiner J., Pfister R., Gallnböck M., Rohrer H. (2010). Abschlussbericht: Vollweide und Abkalbung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Österreich, 2010
- [5] Bargo F., Muller L., Kolver E., Delahoy J. (2003). Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *Journal of Dairy Science* 86, 1 – 42
- [6] Häusler H., Guggenberger T., Resch R., Wildling J. (2008). Ergebnisse zur Ergänzungsfütterung bei Ganztagesweidehaltung von Milchkühen, 4. Fachtagung für biologische Landwirtschaft, 12 – 13. November, Tagungsband, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Österreich 81 – 95
- [7] Pries M., Verhoeven A., Berendonk C. (2010). 10.000 kg ECM/ha im Öko-Betrieb Haus Riswick bei Kurzrasenweide. In: Riswicker Öko-Milchviehtagung 2010. [http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/projekte\\_versuche/riswicker\\_milchviehtagung\\_2010.pdf](http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/projekte_versuche/riswicker_milchviehtagung_2010.pdf)

- [8] Pries M., Menke A. (2011). Untersuchungen zur Verdaulichkeit von Frischgras aus dem System der Kurzrasenweide, Riswicker Ergebnisse 01/2011, LWK NRW, Münster, 16-20
- [9] Schleip I., Schnyder H. (2011). Dynamik des Pflanzenwachstums bei intensiver Weidenutzung, Fachtagung für Biologische Landwirtschaft und Treffen Internationale Weidearbeitsgruppe, 07. und 08. Juli 2011, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein, Österreich, 2011
- [10] Mc Donalds K.A., Penno J.W., Lancaster J.A.S., Roche J.R. (2008). Effect of Stocking Rate on Pasture Production, Milk Production, and Reproduction of Dairy Cows in Pasture-Based Systems. *Journal of Dairy Science*, Volume 91, Issue 5, May 2008, Pages 2151–2163
- [11] Köhler B., Diepolder M., Ostertag J., Thurner S., Spiekens H. (2013). Dry matter losses of grass, lucerne and maize silages in bunker silos. *Agricultural and Food Science*, special issue of the XVI International Silage Conference in Hämeenlinna, Finland, Vol. 22 No.1, 2013, p. 145-150, ISSN 1795-1895
- [12] Horn M., Steinwider A., Gasteiner J., Podstatzky L., Haiger A., Zollitsch W. (2013). Suitability of different dairy cow types for an Alpine organic and low-input milk production system. *Livestock Science* 153, 2013, p. 135 – 146
- [13] Thomet P., Cutullic E., Bisig W., Wüst C., Elsäßer M., Steinberger S., Steinwider A. (2011). Merits of full grazing systems as a sustainable and efficient milk production strategy. *Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions, Grassland Science in Europe*, Vol. 16, 273 – 285
- [14] Hofstetter P., Frey H., Petermann R., Gut W., Herzog L., Kunz P. (2011). Stallhaltung versus Weidehaltung – Futter, Leistungen und Effizienz. *Agrarforschung Schweiz* 9, 402 – 411
- [15] Steinberger S., Rimili S., Diepolder M. (2012). Versuchsbericht, Jungviehaufzucht und Kurzrasenweide, Ergebnisse aus dem Demonstrationsvorhaben 2011. LfL-Information, Freising



# Milcherzeugung auf Grünland aus ökonomischer Sicht

G. Dorfner, G. Hofmann

LfL, Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, Menzinger Straße 54, 80638 München

Gerhard.Dorfner@LfL.bayern.de

## Zusammenfassung

Rund ein Drittel der gesamt 3,2 Mio. Hektar landwirtschaftlich genutzter Flächen Bayerns wird als Grünland bewirtschaftet. Die Milchviehhaltung ist auf diesen Standorten die dominierende und aus ökonomischer Sicht meist überlegene Verwertungsform des Grünlandaufwuchses. Kontinuierlich steigende Milchleistungen setzten bei relativ gleichbleibenden Produktionsmengen an Milch Futterflächen und somit auch Grünland frei. Dieser Zusammenhang wird in der Praxis allerdings nur bedingt und regional unterschiedlich wirksam. Flächenbebauung, staatliche Eingriffe und steigende Rentabilität alternativer Nutzungen verknappen die landwirtschaftliche Fläche und erhöhen die Konkurrenz. Hinzu kommen steigende Bewirtschaftungskosten. In Verbindung mit dem Wegfall der staatlichen Milchquote zum 1.4.2015 wird die Verwertung der begrenzenden Fläche wichtiger als die Orientierung an einer vorgegebenen Produktionsmenge oder die Milchleistung der Einzelkuh. Standortangepaßte hohe Bewirtschaftungsintensitäten und optimierte Flächen- und Futtereffizienz sind die Voraussetzung für den ökonomischen Erfolg von Milchviehbetrieben. Milcherzeugung auf Grünlandstandorten ist ökonomisch wettbewerbsfähig, wenn die Potentiale und Vorteile des Grünlands konsequent genutzt werden. Dazu zählen die Erzielung hoher und stabiler Energie- und Eiweißerträge als Basis hoher Grobfutterleistungen ebenso wie das Nutzen der hohen gesellschaftlichen Akzeptanz der Grünlandbewirtschaftung. Vermarktungsvorteile im Premiumsegment zu erwirtschaften ist dabei ebenso wichtig wie die gezielte Förderung ertragsschwächerer und schwer bewirtschaftbarer Standorte.

## Summary

About one third of the total of 3.2 million hectares of agricultural land in Bavaria is grassland. In these areas dairy farming is the dominating and in most cases economically superior form of exploitation of grass crops. Continuously increasing milk output has been making grassland redundant with milk production rates staying relatively stable. In practice, however, this connection is manifesting itself only partly and with regional differences. There are shortages of agricultural land created by private and commercial developments, State interventions and the increasing profitability of alternative exploitation, which is creating rising competition. Additionally, the operating costs are increasing. In the wake of the discontinuation of the milk quota system by 1/4/2015, the exploitation of the acreage will become more important than the focus on a fixed amount of milk production or the productivity per cow.

Highly intense production and optimized land and food efficiency are the prerequisites of the economic success of dairy farms. Milk production is competitive in grassland regions, if the potential and advantages of grassland are made use of consistently. High and stable crop yields, the basis of high coarse-fibre productivity, count among those advantages as well as the high public acceptance of grassland farming. Gaining advantages in marketing is as important in this respect as the specific support of areas with poorer yield and more difficult production conditions.

## **1 Einleitung und Zielsetzung**

Grünland und Rinderhaltung sind eng miteinander verzahnt, da mit der Rindermast und vor allem mit der Milcherzeugung eine überdurchschnittlich hohe Flächenverwertung zu erzielen ist. Die Milcherzeugung als größter Teil der Rinderhaltung durchlebte in den letzten Jahrzehnten einen starken Strukturwandel, der steigende Milchleistungen, wachsende Betriebsgrößen und große organisatorische sowie technische Veränderungen mit sich brachte. Auch die stark steigende Bedeutung von Silomais und relativ günstigem Kraftfutter in der Futtermittelration sowie die Ganzjahresstallfütterung der Kühe gehörten dazu. Die Potentiale und Chancen des Grünlands gerieten in den Hintergrund, da die generelle politische Zielsetzung speziell im Milchsektor lange Jahre auf Mengenbegrenzung und auf Extensivierungsmaßnahmen in der Flächenbewirtschaftung setzte. Fragen der nachhaltigen Nutzung freiwerdender Grünlandflächen vor allem in Grenzertragslagen in Folge der zurückgehenden Anzahl von Rindern wurden in den 1990er Jahren intensiv bearbeitet [1]. Studien zur weiteren Entwicklung der Grünlandnutzung in Bayern, zur Dimension möglicher Flächenfreisetzungen und zu möglichen alternativen energetischen Nutzung folgten [2, 3, 4]. Hochrechnungen für Bayern kommen für die Periode 2008 bis 2020 zu einem Flächenpotential von 165.000 bis 200.000 ha Grünland, das nicht mehr von Grobfutterfressern benötigt wird [3]. Die starken Impulse der Flächennachfrage, die zu einem großen Teil vom Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ausgingen, und die sich gut entwickelnden Weltagrarmärkte sind hingegen gänzlich neue Rahmenbedingungen und Herausforderungen für die Milcherzeugung und damit auch für einen großen Teil des Grünlands. Der folgende Beitrag analysiert vor diesem Hintergrund die Wettbewerbsfähigkeit der Milcherzeugung auf Grünland und leitet Erfolgsfaktoren ab.

## **2 Material und Methoden**

Die ökonomischen Auswertungen basieren auf Buchführungsstatistiken für Test- und Aufgabebuchführer und Betriebszweigauswertungen für milchviehhaltende Betriebe in Bayern [5, 6]. Die Zahlen aus der Buchführungsauswertung erlauben sowohl Vertikalvergleiche für die ökonomische Entwicklung über mehrere Jahre als auch Horizontalvergleiche für Betriebsgruppen in unterschiedlichen Regionen oder mit unterschiedlichen Strukturen. Die Schichtung der Betriebe erfolgt nach der Herdengröße (Milchkühe) ohne Berücksichtigung der Flächenausstattung. Die Regionalschichtung richtet sich nach dem Kriterium Grünlandanteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF). Betriebe mit mehr als 75 % Grünland zählen zur Gruppe „Grünland“, Betriebe mit weniger als 50 % Grünland bilden die Vergleichsgruppe „Acker“, wobei die Gruppengrößen zwischen 53 und 232 Betrieben variieren. Zur Vermeidung von Verzerrungen werden lediglich konventionell wirtschaftende Betriebe herangezogen.



In einem zweiten Schritt erlauben Betriebszweigauswertungen von Milchviehbetrieben ( $n = 210$ ) für einen kleineren Kreis von spezialisierten Milchviehbetrieben genauere, aber nicht für Bayern repräsentative Aussagen zur Kostenstruktur, zu den Kosten der Futtererzeugung sowie zur Produktionstechnik und Arbeitswirtschaft [7, 8]. Die relativ geringe Anzahl von Betrieben läßt keine statistische Absicherung zu. Ähnliche Auswertungen beispielsweise in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein sichern die Aussagen aber ab [9, 10, 11].

### **3 Ergebnisse und Diskussion**

#### **3.1 Buchführungsauswertungen**

Im vorliegenden Vergleich zwischen Betrieben unterschiedlicher Struktur und unterschiedlichem Grünlandanteil fällt zunächst die größere Flächenausstattung und der höhere Pachtanteil der Gruppe „Acker“ auf. Diese Betriebe betreiben neben der Milchviehhaltung auch noch Futter- und Markfruchtbau in verschiedenster Ausprägung, wie es in vielen nordbayerischen Regionen üblich ist. Die Arbeitskräfteausstattung ist nahezu gleich. In der Rentabilitätsanalyse über den Zeitraum von 2008 bis 2012 lassen sich folgende Ergebnisse ableiten (Tab. 1):

- 1) Der absolute Gewinn der Gruppe „Acker“ mit zusätzlichem Ackerbau ist geringfügig bis spürbar höher. Allerdings reicht er für einen großen Teil der Betriebe vor allem in den beiden kleineren Herdenklassen zur Erzielung einer positiven Eigenkapitalbildung nicht aus. Zusatzeinkünfte (u.a. Nebenerwerb, Einkünfte aus Photovoltaik) in einer Größenordnung von 10.000 bis 15.000 € sind die Regel.
- 2) Die Flächenverwertung (Gewinn je Hektar LF) in der Grünlandgruppe übertrifft diejenige der Vergleichsgruppe deutlich und steigt mit der Herdengröße an.
- 3) Laut Statistik ist die benötigte Arbeitsmacht bzw. Arbeitskapazität in den jeweiligen Vergleichsklassen fast gleich. Aufgrund des höheren absoluten Gewinns (siehe 1) ist die Arbeitsverwertung in der Gruppe „Acker“ höher, allerdings erreicht sie erst in der Gruppe mit 50-100 Kühen den anzustrebenden Wert von mindestens 35.000 €/Arbeitskraft (AK).

Tab. 1: Vergleich des ökonomischen Erfolgs verschiedener Herdengrößen in Regionen Bayerns mit hohen und geringen Grünlandanteilen (Buchführungsauswertung)

| Klasse Herdengröße (Kühe)                     |            | 10 - 30 Kühe |        | 30 - 50 Kühe |        | 50 - 100 Kühe |        |
|---|------------|--------------|--------|--------------|--------|---------------|--------|
| Klasse Grünlandanteil                         | % der LF   | > 75 %       | < 50 % | > 75 %       | < 50 % | > 75 %        | < 50 % |
| Ø Anteil Dauergrünland                        | % der LF   | 97           | 27     | 95           | 32     | 91            | 32     |
| Herdengröße (Kühe)                            | n          | 23           | 22     | 39           | 40     | 63            | 65     |
| Fläche  | ha LF      | 27,1         | 42,3   | 38,3         | 54,9   | 55,8          | 75,5   |
| Pachtanteil                                   | % an LF    | 38           | 53     | 46           | 60     | 56            | 65     |
| Milchleistung                                 | kg/Kuh     | 6.626        | 6.426  | 6.891        | 6.866  | 7.040         | 6.908  |
| Familien-AK n. Statistik                      | AK/Betrieb | 1,37         | 1,37   | 1,59         | 1,57   | 1,70          | 1,77   |
| Gewinn 2008-2012                              | €/Betrieb  | 25.692       | 29.683 | 39.301       | 43.414 | 59.598        | 71.442 |
| Gewinnrate 2008-2012                          | %          | 28,9         | 24,5   | 26,1         | 22,9   | 25,9          | 24,4   |
| Gewinn 2008-2012                              | €/ha LF    | 947          | 702    | 1026         | 791    | 1068          | 946    |
| Gewinn 2008-2012                              | €/Fam-AK   | 18.753       | 21.666 | 24.718       | 27.652 | 35.058        | 40.363 |
| entkoppelte Flächenprämien (Förderjahr 2011)  | €/ha LF    | 299          | 359    | 325          | 372    | 338           | 388    |
| Stützungsgrad Bezug Unternehmensertrag        | %          | 19           | 19     | 17           | 17     | 14            | 15     |
| Stützungsgrad Bezug Gewinn 2008-2012          | %          | 66           | 80     | 69           | 78     | 57            | 65     |
| Grundfutterleistung lt. Buchführung 2008-2012 | kg/Kuh     | 4.103        | 1.964  | 3.744        | 2.274  | 3.409         | 2.411  |
| Erzeugerpreis Milch (netto) 2008-2012         | ct/kg      | 34,3         | 33,9   | 34,5         | 34,2   | 34,3          | 34,0   |

4) Der Stützungsgrad staatlicher Zahlungen am Gewinn ist nach wie vor hoch und beläuft sich im fünfjährigen Mittel auf 57 bis 80 %. Die überdurchschnittliche Gewinnrate in der Milcherzeugung verhilft den Grünlandbetrieben zu geringeren Stützungsgraden und damit zu etwas geringerer Abhängigkeit von staatlichen Zahlungen als der Gruppe „Acker“.

5) Der finanzielle Effekt der Vereinheitlichung der Flächenprämie auf rund 350 €/ha bis zum Jahr 2013 fällt kaum ins Gewicht, tendenziell verliert die Gruppe „Acker“ bis dahin noch Fördergelder, die Gruppe „Grünland“ verbucht voraussichtlich noch Wertsteigerungen bei den Zahlungsansprüchen.

Insgesamt präsentieren sich die Grünlandbetriebe in der Buchführungsstatistik trotz kleinerer Strukturen mit Hilfe ihrer Spezialisierungsvorteile und signifikant höheren Grund- bzw. Grobfutterleistungen in der Flächenverwertung (Gewinn je Hektar LF) vor allem in den beiden kleineren Klassen als absolut wettbewerbsfähig. Dabei befindet sich die Milchleistung in den Gruppen auf einem sehr ähnlichen Niveau. Beim Vergleich der Gruppennittel bleibt ein wichtiger Aspekt aber außen vor. Die Gewinnunterschiede zwischen den Regionsgruppen sind deutlich kleiner als innerhalb der Gruppen. Beispielsweise stellt der durchschnittliche Gewinn in den Grünlandbetrieben mit 30 bis 50 Kühen in Höhe von rd. 39.000 € (Tab. 1) einen Mittelwert aus Betrieben dar, die im unteren Viertel 16.500 € und im oberen Viertel über 68.000 € Gewinn erwirtschafteten. Die davon ableitbare Differenz von über 51.000 € geht weit über den Abstand zwischen Grünland- und Ackergruppe in Höhe von rund 4.000 € hinaus. Diese Zahlen bestätigen die These, wonach sich die Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung nicht in erster Linie über den Standort, sondern über das einzelbetriebliche Management definiert [12].

### 3.2. Ergebnisse der Betriebszweigauswertung Milch

Die in Folge dargestellten Betriebszweigauswertungen basieren auf spezialisierten bayerischen Milchviehbetrieben, die im aktuellen Auswertungsjahr (Wirtschaftsjahr 2011/12) durchschnittlich 71 Kühe hielten (Tab. 2). Höhere Grünlandanteile korrespondieren hier mit kleineren Herdengrößen und geringerer Milchleistung. Beide Zusammenhänge und die deutlich geringeren Leistungen (auch bei Nebenerlösen) erklären, dass sowohl der Gewinnbeitrag als auch das kalkulatorische Betriebszweigergebnis mit steigendem Grünlandanteil absinken. Die Futterkosten je Kuh bewegen sich im Gegensatz dazu über alle Gruppen bei deutlich steigenden Grassilageanteilen in der Ration in einem relativ engen Korridor. Einsparungen bei den Kraftfutterkosten gleichen sich mit höheren Grobfutterkosten annähernd aus. Systematisch liegt hier der Marktpreisansatz des Futters zugrunde, der die tatsächlichen Kosten der Futtererzeugung außen vor lässt.

Die Erzeugungskosten des Grobfutters variieren in der Praxis aber noch deutlich stärker als es die Gruppenauswertung in Tab. 2 ausweist. Bei Grassilage ergeben sich in der BZA 2011/12 Kostenspannen von 22 bis über 46 ct/10 MJ NEL bzw. 13 bis über 25 €/dt Trockenmasse (TM) - ohne Berücksichtigung staatlicher Flächenzahlungen [7]. Dabei verändert 1 €/dt TM in der Grassilageerzeugung die Erzeugungskosten der Milch im durchschnittlichen BZA-Betrieb um 18 €/Kuh bzw. 0,22 ct/kg ECM (energiekorrigierte Milch mit 4 % Fett und 3,4 % Eiweiß). Trotz der grundsätzlich großen Vorteile von Silomais beim Energieertrag nähern sich in ertragreichen Grünlandregionen bei gutem „Grünlandmanagement“ die Erzeugungskosten der Futterenergie für Mais- und Grassilage aneinander an. Dies gilt verstärkt, wenn gekoppelte Flächenzahlungen (Ausgleichszulage, grünlandspezifische Agrarumweltprogramme) berücksichtigt werden.

Tab. 2: Gruppenauswertung BZA Milch Bayern 2011/12 nach Grünlandanteilen in den Betrieben

| Gruppierung nach Grünlandanteil                        | % der LF                  | < 20   | 20 - < 40 | 40 - < 60 | >= 60  | gesamt<br>(n=210) |
|--|---------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-------------------|
| Ø Anteil Grünland an LF                                | % der LF                  | 13     | 31        | 48        | 84     | 43                |
| Herdengröße (Kühe)                                     | n                         | 92     | 68        | 76        | 61     | 71                |
| Milchleistung  | kg ECM/Kuh                | 8.437  | 8.003     | 8.044     | 7.687  | 7.998             |
| Leistungen gesamt                                      | €/Kuh m. NZ <sup>1)</sup> | 4.275  | 4.104     | 4.124     | 3.841  | 4.083             |
| Futterkosten   | €/Kuh m. NZ               | 1.961  | 1.831     | 1.793     | 1.828  | 1.828             |
| davon Krafftutterkosten                                | €/Kuh m. NZ               | 720    | 0         | 0         | 0      | 0                 |
| Direktkosten ohne Futter                               | €/Kuh m. NZ               | 568    | 558       | 538       | 552    | 552               |
| Gemeinkosten   | €/Kuh m. NZ               | 1.547  | 1.827     | 1.686     | 1.837  | 1.781             |
| Gewinnbeitrag vor entkoppelten Prämien <sup>2)</sup>   | €/Kuh m. NZ               | 1.059  | 922       | 1.037     | 623    | 922               |
| Kalkulat. BZE <sup>2)</sup>                            | €/Kuh m. NZ               | 199    | -111      | 53        | -376   | -78               |
| Grobfütterleistung                                     | kg ECM/Kuh                | 2.482  | 2.625     | 2.984     | 3.060  | 2.792             |
| Futterflächenbedarf                                    | ha HFF/Kuh m. Nachzucht   | 0,56   | 0,60      | 0,64      | 0,81   | 0,64              |
| Flächeneffizienz                                       | kg ECM/ha HFF             | 15.880 | 13.920    | 13.608    | 10.431 | 13.432            |
| Grundfutteraufnahme                                    | dt TM/Kuh                 | 49,8   | 48,9      | 48,1      | 50,7   | 49,0              |
| davon Grassilage                                       | %                         | 15,7   | 32,9      | 40,4      | 55,9   | 37,6              |
| Krafftuttereinsatz                                     | g/kg ECM                  | 300    | 291       | 281       | 255    | 283               |
| Anteil Grundfutter an Gesamt-Futteraufnahme (Basis TM) | %                         | 70,0   | 70,5      | 70,8      | 74,3   | 71,0              |
| Produktivität  | Kühe/AK                   | 42     | 41        | 44        | 41     | 42                |
| Ertrag Grassilage <sup>3)</sup>                        | GJ NEL/ha                 | 48     | 55        | 53        | 52     | 53                |
| Produktionskosten Grassilage <sup>4)</sup>             | ct/10 MJ NEL              | 41     | 34        | 34        | 30     | 34                |
| Ertrag Maissilage <sup>3)</sup>                        | GJ NEL/ha                 | 109    | 110       | 113       | 114    | 112               |
| Produktionskosten Maissilage <sup>4)</sup>             | ct/10 MJ NEL              | 21     | 19        | 20        | 20     | 20                |

1) NZ: weibliche Nachzucht 2) Futter mit Marktpreisansatz 3) Ertragsschätzung nach Abzug der kompletten Ernte- und Lagerverluste (Futter "frei Maul")

4) Vollkosten einschl. Wirtschaftsdünger o. Berücksichtigung gekoppelter oder entkoppelter Flächenzahlungen

Entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit der Grünlandstandorte sind qualitativ hochwertige und quantitativ hohe Erträge. Andernfalls steigt die notwendige Futterfläche und die in Tab. 2 ausgewiesene Flächeneffizienz (hier bezogen auf die Hauptfutterfläche) sinkt entsprechend ab. Dass auch intensive Standweidesysteme wie die Kurzrasenweide die Bedingungen für eine ökonomisch erfolgreiche Milcherzeugung und Jungviehaufzucht erfüllen können, belegen Auswertungen im süddeutschen Raum [14]. Bei entsprechendem Flächenmanagement sind Kostenvorteile des Weidefutters sowohl bei konventioneller als auch ökologischer Milcherzeugung zu realisieren (Tab. 2, [9][10]).

Beim Blick auf die in der Grünlandgruppe unterdurchschnittliche Flächeneffizienz sind dabei nicht nur die Flächenerträge frei Feld zu optimieren, sondern im nächsten Schritt die geworbenen Futtermengen auch möglichst verlustfrei in der Jungviehaufzucht und Milchviehhaltung zu veredeln. Zusätzlich ist in der Zukunft auch stärker als bisher über den Wert und die Kosten des eigenerzeugten Futterproteins zu diskutieren. Die deutliche Verteuerung der meist zugekauften Eiweißträger Raps- und Sojaextraktionsschrot erhöht die

Wertigkeit des Grünlands. Internetbasierte Kalkulationshilfen zur Kostenermittlung von Futtermitteln sind in diesem Zusammenhang ein Beispiel dafür, wie angewandte Forschung Beratung und Praxis unterstützen kann [13].

Unabhängig von der Standortfrage erweist sich eine hohe Kraftfutthereffizienz, die ihre Entsprechung in einer hohen Grob- und Grundfutterleistung findet, als Grundvoraussetzung geringer Futterkosten und hoher Rentabilität [8, 15]. Betriebe mit den höchsten Grundfutterleistungen (> 4.500 kg) erzielten im Wirtschaftsjahr 2011/12 Kostenvorteile von über 7 ct/kg ECM im Vergleich zu Betrieben mit weniger als 1.500 kg Grundfutterleistung [7].

Hohe Flächeneffizienz ist aber mehr als die Optimierung von Erträgen und Verlusten in der gesamten Futterkette sowie hohe Futthereffizienz. Großes Verbesserungspotential steckt in der betrieblichen Aufzuchtstrategie. Die Reduzierung des Erstkalbealters und der Remontierungsrate sind ökonomisch sinnvolle Ansätze, Futtermengen und Futterflächen einzusparen [8, 16]. Gleichzeitig steigern sie die sog. Lebenstagsleistung, die in der Diskussion um die Nachhaltigkeit von „Milcherzeugungssystem“ immer stärker an Bedeutung gewinnt.

## 4 Schlussfolgerungen und Bewertung

Grundsätzlich erfordert die Vielzahl verschiedenster Grünlandausprägungen eine differenzierte Betrachtung, was die gesellschaftlichen Wünsche, die ökonomisch sinnvolle Nutzung, die abzuleitende Bewirtschaftungsintensität und nicht zuletzt auch die öffentliche Bereitschaft zur Förderung angeht. Aus dem Blickwinkel der Milcherzeugung sind folgende Punkte für die Grünlandnutzung hervorzuheben:

1. Der Bedarf an Grünlandflächen und Ackerfutterflächen für die Rinderhaltung wird über Gesamtbayern hinweg kontinuierlich weiter zurückgehen. Dennoch wird der in vielen Regionen bereits heute sehr angespannte Flächenmarkt nach heutiger Einschätzung aber keine wesentliche Entspannung erfahren. Die sinnvolle Kombination aus „tierischer“ und energetischer Verwertung des Grünlandaufwuchses kann für beide Betriebszweige einen Vorteil erbringen, wenn die technischen und ökonomischen Voraussetzungen für eine Verwertung überschüssigen bzw. für die Rinderhaltung nicht verwertbaren Futters gegeben sind.
2. Aus Sicht der Buchführung ist die Milcherzeugung auf Grünland beim mehrjährigen Vergleich gleicher Strukturen grundsätzlich wettbewerbsfähig mit Ackerbauregionen – vorausgesetzt das produktionstechnische Niveau ist hoch und die Vorteile des Grünlands werden konsequent genutzt. In der detaillierten Betrachtung der Betriebszweigabrechnung wird einerseits die hohe Wettbewerbsfähigkeit von Silomais deutlich. Zum anderen spiegeln die extrem unterschiedlichen Erträge und Kosten der Futtererzeugung sowie Flächenverwertungen wider, wie wichtig das einzelbetriebliche Controlling in der Futterwirtschaft ist.
4. Das Grobfuttermanagement ist einer der größten Erfolgsfaktoren und bietet in der Praxis noch ein großes Verbesserungspotential – vor allem auf Grünland. Das Wissen um die geernteten Mengen an Futterenergie und –eiweiß sowie um die Produktionskosten ist die Voraussetzung, dieses Potential zu nutzen.
5. Die Vereinheitlichung der Flächenprämie bis 2013 und die voraussichtliche Weiterentwicklung der Agrarförderung kommt den Grünlandstandorten zugute. Auch die grundsätz-

lich geringeren Nutzungskosten des Grünlands bleiben voraussichtlich ein dauerhafter Standortvorteil für die dortige Milcherzeugung.

6. Grünlandstandorte bieten überdurchschnittliche Chancen, Premiummärkte zu bedienen und daraus höhere Wertschöpfung zu generieren, beispielsweise in der Weidehaltung, in der ökologischen Milcherzeugung oder in der Milcherzeugung ohne gentechnisch verändertes Futter.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur (LBA) (1996): Veröffentlichungen im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wirtschaftlichkeit und Wirkung einer extensiven Landbewirtschaftung in Bayern“. München.
- [2] Würfl, P., Halama, M., Keymer, U. (2008): Grünlandstudie Bayern, LfL-Schriftenreihe, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). München.
- [3] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung - Machbarkeitsstudie, LfL-Schriftenreihe. München.
- [4] Forschungszentrum Karlsruhe (Hrsg.) (2007): Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung? Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333. Karlsruhe.
- [5] Schmidlein, E. u. Haushahn, P. (2013): Buchführungsergebnisse des Wirtschaftsjahres 2011/12, LfL-Information. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. München.
- [6] Haushahn, P. u. Dorfner, G. (2013): Interne Auswertungen mehrjähriger Buchführungsergebnisse, unveröffentlicht. München
- [7] Dorfner, G. u. Hofmann, G. (2013): Auswertungen der BZA Milch Bayern 20011/12, bisher unveröffentlicht. München.
- [8] Dorfner, G. u. Hofmann, G. (2012): Milchreport Bayern 2011. LfL-Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), München.
- [9] Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (LEL) (2013). Rinderreport Baden-Württemberg 2012. Schwäbisch Gmünd.
- [10] Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2013): Betriebszweigauswertung 2011/12. Nicht veröffentlicht. Münster.
- [11] Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2013): Ergebnisse der Vollkostenauswertung der Rinderspezialberatungsringe in Schleswig-Holstein. Auswertungsjahr 2011/12: Blekendorf.
- [12] Dorfner, G. (2013): Erfolg im schwierigen Jahr. In: DLG-Mitteilungen, S. 97. Frankfurt/Main.
- [13] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): LfL-Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Internetanwendung unter: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>.
- [14] Steinberger, S., P. Rauch, H. Spiekers, G. Hofmann, G. Dorfner (2012): Vollweide mit Winterkalbung. LfL-Schriftenreihe 5/2012. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.

---

[15] Over, R. (2009): Grundfutterkosten: Schlüssel zum Erfolg. in: Landinfo 7/2009, S. 37 ff.. Schwäbisch Gmünd.

[16] Spiekers, H. (2012): Milch und Fleisch effizient erzeugen, 50 Jahre BAT, in: Tagungsband „Perspektiven einer ressourcenschonenden und nachhaltigen Tierernährung“, Herausgeber: C. Fahn, W. Windisch, BAT. S. 53-58. Freising.