Hans Eisenmann-Zentrum

6. Agrarwissenschaftliches Symposium

24. September 2015

Innovative Biomasse-Erzeugung

Herausforderungen und Perspektiven

Tagungsband

Impressum

Herausgeber:
Hans Eisenmann-Zentrum
Zentralinstitut für Agrarwissenschaften der Technischen Universität München
Liesel-Beckmann-Str. 2
85354 Freising
Tel: +49.8161.71.3464
Fax: +49.8161.71.2899
E-mail: Hans-Eisenmann-Zentrum@wzw.tum.de
Internet: www.hez.wzw.tum.de

Direktor:
Prof. Dr. Wilhelm Windisch

Redaktion:
Claudia R. Luksch

Prof. Dr. Wilhelm Windisch

Geschäftsführender Direktor
Zentralinstitut Hans Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften

Vorwort

Das bereits sechste Agrarwissenschaftliche Symposium des Zentralinstituts HANS EISENMANN-ZENTRUM FÜR AGRARWISSENSCHAFTEN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN greift die Ressourcendiskussion als eine der entscheidenden gesellschaftlichen Zukunftsfragen auf.

Die bisherigen Strategien der landwirtschaftlichen Erzeugung von Lebensmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft zielen hauptsächlich auf die Ausweitung der Produktion durch immer höheren Einsatz von Ressourcen (z.B. Düngemittel, hochwertige Futtermittel).

Dieser Weg stößt zunehmend an seine Grenzen. So steht die Primärproduktion pflanzlicher Biomasse zum Zwecke der Ernährung des Menschen, der Fütterung von Nutztieren bzw. als industrieller Rohstoff vor enormen Herausforderungen. Für eine nachhaltige Entwicklung ist deshalb eine gezielte Erschließung nachwachsender und innovativer Rohstoffe zur stofflichen und energetischen Nutzung notwendig.

Das 6. Agrarwissenschaftliche Symposium „Innovative Biomasse-Erzeugung“ greift diesen Themenbereich aus der Sicht der Ressourcen, der Prozesse und der Produkte auf. Vorträge und Posterpräsentationen liefern fachkompetente und detaillierte Betrachtungen aus den vielgestaltigen Blickwinkeln dieses komplexen Themas.

Ich freue mich, Sie zum diesjährigen Agrarwissenschaftlichen Symposium des Hans Eisenmann-Zentrums in Weihenstephan begrüßen zu dürfen und wünsche Ihnen spannende, erkenntnisreiche Vorträge und anregende Diskussionen.

Das **Zentralinstitut Hans Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften** verbindet die **agrarwissenschaftlich** orientierten Professuren der Technischen Universität München. Schwerpunkte sind die Vernetzung der agrarwissenschaftlichen Forschung, die Initiierung gemeinsamer Forschungsvorhaben und die Förderung der agrarwissenschaftlichen Fortbildung für Wissenschaftler, Studierende, Praktiker und Experten der Agrarwirtschaft.

Programm

Begrüßung

- **09:15**
  Prof. Dr. Wilhelm Windisch
  Direktor des Hans Eisenmann-Zentrums
  Technische Universität München

Einführung

- **09:45 – 10:45**
  Prof. Dr. Daniela Thrän
  Bioenergiesysteme, Universität Leipzig
  HelmholtzZentrum für Umweltforschung (UFZ)
  Mitglied im Bioökonomierat
  Biomasse – Grundlagen und Herausforderungen für die Rohstoffbasis einer nachhaltigen Bioökonomie

- **10:45 – 11:15 Kaffeepause/Postersession**

„Innovative Ressourcen“

- **11:15 – 11:45**
  Prof. Dr. Christian Jung
  Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
  Christian-Albrechts-Universität Kiel
  Neue Methoden der Pflanzenzüchtung zur Selektion und gezielten Veränderung von Nutzpflanzen

- **11:45 – 12:15**
  Prof. Dr. Heinz Bernhardt
  Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
  Technische Universität München
  Innovationen in agrartechnischen Prozessen der Biomassegewinnung

- **12:15 – 14:15 Mittagspause/Postersession**

"Innovative Prozesse"

- **14:15 – 14:45**
  Dr. Doris Schieder
  Lehrstuhl für Chemie biogener Rohstoffe
  Technische Universität München
  Kaskadennutzung von Biomasse

- **14:45 – 15:15**
  Dr. Martin Frettlöh
  Quh-Lab Lebensmittelsicherheit
  Siegen
  Biobaukastenprinzip zur effizienten, kaskadenartigen Nutzung von pflanzlichen industriellen Nebenströmen zur Herstellung spezifisch nutzbarer Produkte

15:15 – 16:00 Kaffeepause/Postersession

"Innovative Produkte"

- **16:00 – 16:30**
  Prof. Dr. Dirk Prüfer
  Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie
  IME, Münster
  Von der Pusteblume zur Industriepflanze: hochwertiger Naturkautschuk für die gummiverarbeitende Industrie

- **16:30 – 17:00**
  PD Dr. Peter Eisner
  Dr. Stephanie Mittermaier
  Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
  Freising
  Entwicklung pflanzlicher Lebensmittel mit hoher Verbraucherakzeptanz am Beispiel von Proteinzutaten aus Lupinensamen

"Umsetzung"

- **17:00 – 17:30**
  Prof. Dr. Enno Bahrs
  Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre
  Universität Hohenheim
  Umsetzung und Akzeptanz von technischem Fortschritt in der deutschen Landwirtschaft

Schlusswort

- **17:30**
  Prof. Dr. Wilhelm Windisch

Abstracts

Inhaltsverzeichnis Vorträge

Biomasse – Grundlagen und Herausforderungen
für die Rohstoffbasis in einer nachhaltigen Bioökonomie
Prof. Dr. Daniela Thrän *9*

Neue Methoden der Pflanzenzüchtung zur Selektion und gezielten
Veränderung von Nutzpflanzen
Prof. Dr. Christian Jung 13

Innovationen in agrartechnischen Prozessen der Biomassegewinnung
Prof. Dr. Heinz Bernhardt 15

Kaskadennutzung von Biomasse
Dr. Doris Schieder 19

Biobaukastenprinzip zur effizienten, kaskadenartigen Nutzung von
pflanzlichen industriellen Nebenströmen zur Herstellung
spezifisch nutzbarer Produkte
Dr. Martin Frettlöh 23

Von der Pusteblume zur Industriepflanze: hochwertiger Naturkautschuk
für die gummiverarbeitende Industrie
Prof. Dr. Dirk Prüfer 27

Entwicklung pflanzlicher Lebensmittel mit hoher Verbraucherakzeptanz
am Beispiel von Proteinzutaten aus Lupinensamen
PD Dr. Peter Eisner, Dr. Stephanie Mittermaier 31

Umsetzung und Akzeptanz von technischem Fortschritt
in der deutschen Landwirtschaft
Prof. Dr. Enno Bahrs 37

Inhaltsverzeichnis Poster

Reduktion des antinutritiven Potentials von Futtermittel für
monogastrische Nutztiere als Maßnahme der innovativen
Biomasseerzeugung
Daniel Brugger, Prof. Dr. Wilhelm Windisch 45

Effizientere Nutzung der Futterbiomasse in der Wiederkäuerhaltung
durch den Einsatz exogener Enzyme
Mirco Deml, Dr. Carmen Bolduan, Prof. Dr. Wilhelm Windisch 49

Innovative Biomasse-Erzeugung

Leistungspotential von Körnermaisstroh für die Biogasproduktion
Monika Fleschhut , Dr. Joachim Eder 53

Optimierter Gärresteinsatz in Energiepflanzenfruchtfolgen
Jonas Haag, Dr. Maendy Fritz 55

Analyse der Rohstoffbereitstellung für die verschiedenen Konzepte der Kaskadennutzung von Biomasse – UBA-Projekt „BIOMASSEKASKADE
Sonja Kay, Prof. Dr. Frank Bauer 59

Kaskadierte Nutzung schwer abbaubarer Substrate und Intensivierung der Hydrolyse
Matthias Majewski, Dr. Fabian Lichti 63

Getreide-Ganzpflanzen-Silage als Biogassubstrat
Dr. Anna Techow, Dr. Christine Riedel, Dorothea Hofmann 67

Vielfalt in der Produktion der Biogassubstrate
Johannes Uhl, Andrea Sobczyk, Dorothea Hofmann 71

Labordienstleistung als Basis einer effektiven Biomassenutzung
Christian Vogt, Günter Henkelmann 75

Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän

Leiterin des Departments Bioenergie
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ
Permoserstr. 15, 04318 Leipzig
E-Mail: daniela.thraen@ufz.de

Biomasse – Grundlagen und Herausforderungen für die Rohstoffbasis in einer nachhaltigen Bioökonomie

Abstract

Biomasse ist eine erneuerbare Kohlenstoffquelle, die auf einer limitierten Fläche produziert wird. Während die Umwandlung von Sonnenlicht zu Biomasse einerseits durch einen begrenzten Wirkungsgrad gekennzeichnet ist, liefert andererseits das breite Spektrum der produzierten Biomassequalitäten ein großes Potenzial an Wertschöpfung. Entsprechend vielfältig sind auch die Ziele der künftigen Biomassenutzung im Sinne einer zunehmend erneuerbaren Ressourcenbasis: Ernährungssicherung, neue Produkte und produktionsintegrierter Umweltschutz durch biologisches Wissen, Klimaschutz, Zugang zu Energie, Entwicklung ländlicher Räume werden in verschiedenen Bioökonomiestrategie adressiert und erzeugen Zielkonflikte bei der Frage, wie die begrenzte Ressource genutzt werden soll. Weitere Herausforderungen bestehen darin, dass das künftige Biomassepotenzial nur mit Unsicherheit beschrieben werden kann und die gegenwärtige Nutzung der Biomasse vielfach nur mit geringer Effizienz erfolgt. Die Ansätze zur Gestaltung der Rohstoffbasis für eine nachhaltige Bioökonomie sind komplex und müssen den gesamten Lebensweg der Biomasse beachten. Ausgewählte Ansatzpunkte hierzu werden ausblickend diskutiert.

Biomasse – Einordnung des Potenzials

Biomasse ist die wichtigste Grundlage der Bioökonomie. Ihre Produktion braucht Land, Wasser und geeignete klimatische Bedingungen. Aktuell wird von der globalen Landfläche(ca. 13 Mrd. ha) Biomasse für verschiedene Nutzungsformen auf ca. 10% der Fläche gezielt angebaut. Das sind vor allem Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel auf etwa 1,4 Mrd. ha Ackerland. Weiterhin werden 3,4 Mrd. ha Dauergrünland und ca. 4 Mrd. ha an Waldflächen vielfältig genutzt. Die übrigen 4,1 Mrd. ha sind „Sonstiges“ wie Wüsten, Gebirge oder Siedlungen (vgl. NOVA 2013). Drei Viertel der Erde sind bedeckt von Wasser, auch hier entsteht Biomasse in unterschiedlicher Form, die aber im Folgenden nicht betrachtet wird. Die jährlich auf den Landflächen insgesamt bereitgestellte, oberirdische Biomasse wird als „oberirdische Nettoprimärproduktion (NPP)“ bezeichnet und beträgt global ca. 35Gt Kohlenstoff pro Jahr (Chum et al. 2011). Limitierend ist die Umwandlung des auftretenden Sonnenlichts in Biomasse, deren Nettowirkungsgrad je nach Umweltbedingungen

und Pflanzenart typischerweise 1 % nicht überschreitet (Blankenship et al. 2011). Von der gesamten aufwachsenden Biomasse wird durch den Menschen ungefähr ein Viertel bereits genutzt (Haberl et al 2013; NOVA 2013). Haupteinsatzbereiche sind Lebensmittel (18%) und Futtermittelproduktion (60%), sowie stoffliche (12%) und energetische Nutzungen (10%). Die letzten beiden Bereiche nutzen vor allem Holz (vgl. NOVA 2013, FAOStat).

Es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Biomasse perspektivisch steigen wird. Die Weltbevölkerung wird bis zum Jahr 2050 auf 9,6 Milliarden Menschen prognostiziert (UN 2013). Damit würde der Bedarf an Nahrungsmitteln um 60% (2011 gegenüber 2050) steigen (FAO 2012). Der Pro-Kopf-Fleischkonsum wird im gleichen Zeitraum zunehmen (Godfray et al. 2010). Auch für die Bereitstellung von Materialen und Energie wird eine steigende Biomassenachfrage erwartet. Der Beitrag von Biomasse zur Deckung des Energiebedarfs, der heute etwa 10 % des globalen Primärenergiebedarfs ausmacht, ist jedoch begrenzt. Mit dem heute jährlich aufwachsenden, biogenen Kohlenstoff, der etwa 1.260 EJ/a entspricht (Chum et al. 2011), könnten bei Beibehaltung heutiger Nutzungsraten mit Biomasse noch etwa 5 - 8% des für 2050 erwarteten globalen Primärenergiebedarfs (ca. 600 – 1000EJ) gedeckt werden. Eine signifikante Steigerung des Energiepflanzenanbaus, der heute gut 1% der globalen Agrarfläche (Raschka, Carus 2012) beansprucht, ist daher nicht aussichtsreich. Gleichzeitig ist auch darauf hinzuweisen, dass für den Bereich der Reststoffe, zwar noch ein ungenutztes Potenzial vorhanden ist, welches jedoch teilweise unbekannt beziehungsweise aus ökonomischen oder logistischen Gründen nur schwer erschließbar ist (Abbildung 1).

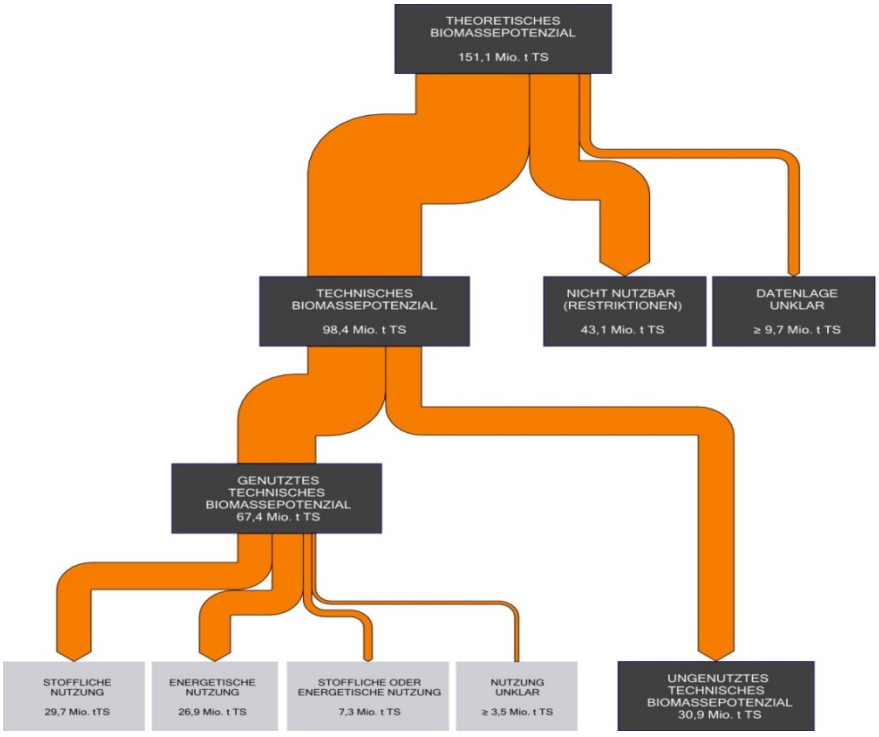


Abbildung 1: „Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen und deren aktuelle Nutzung – Status quo in Deutschland als Sankey-Diagramm“ (Quelle: Brosowski et al. 2015)

Ansatzpunkte zur Deckung des künftigen Bedarfs

Eine Rohstoffstrategie soll dem Primat „food first“ folgen. Sie hat außerdem die nachhaltige Nutzung der Ressourcenbasis (Boden, Wasser, Nährstoffe, Biodiversität) zu gewährleisten und sollte im Einklang mit gesellschaftlichen Bedarfsvor-stellungen stehen. Um diese Ziele zu erreichen, muss die Verwertung der biobasierten Rohstoffe effizienter und bedarfsgerechter gestaltet werden. Um die Verfügbarkeit der Rohstoffbasis zu erhöhen, ist es daher wichtig, nicht nur die Biomassebereitstellung auf der Fläche zu betrachten sondern die gesamte Bereitstellungskette bis hin zum Endprodukt. Hier bestehen die folgenden Optionen:

- Ausweitung der Produktionsfläche
- Erhöhung der Produktivität auf der Fläche
- Erhöhung der Effizienz bei der Verwertung der Biomasse
- Verlängerung der Nutzung über mehrere Einsatzbereiche (Kaskade)
- Veränderung der Nachfrage

Die Forderung einer nachhaltigen Nutzung der Ressourcenbasis erfordert dabei, dass die Auswertung der Fläche und die Intensivierung der Flächennutzung zu begrenzen sind und dass bei der Diskussion der Rohstoffbasis damit weniger Substitutionseffekte (Ersatz fossiler Ressourcen durch biogene) als vielmehr die Entwicklung innovativer Verfahren, Produkte und Leistungen als Erfolgsfaktoren gesehen werden müssen.

Weiterhin ist zu beachten, dass durch die Biomasseproduktion in enger Wechselwirkung mit dem Bodenkohlenstoffhaushalt steht. Hierdurch können sich je nach Produktionsstandort unterschiedliche Effekte ergeben (Erhöhung oder Reduktion des Kohlenstoffhaushaltes durch Art der Bewirtschaftung und Auswahl der produzierten Biomasse). Auch durch diese Randbedingungen ist eine flächen-spezifische Abschätzung der Eignung von Biomasseproduktionsstandorten notwendig.

Nachhaltiger Rahmen

Durch die genannten Komplexitäten ist es notwendig für die Rohstoffbasis der Bioökonomie einen wirkungsvollen Rahmen für die Steuerung zu schaffen, der eine nachhaltige Nutzung ermöglicht. Dazu sind verschiedene Elemente notwendig, die schrittweise entwickelt und in geeigneter Form miteinander verknüpft werden müssen. Hierzu zählen

- hinreichende Informationen zur Entwicklung der Rohstoffbasis, der mit der Nutzung verbundenen Effekte auf verschiedene Schutzgrößen sowie die Entwicklung der Effektivität der Nutzung in Form von einem angepassten Monitoringsystem
- Zielvorstellungen und Szenarien für eine nachhaltige Bioökonomie, die auch Aussagen zum künftig avisierten Bedarf an Biomasse in den unterschiedlichen Sektoren liefern

- international etablierte Governance zu nachhaltiger Landnutzung und Klimaschutz als die zwei Bereiche, in die die Nutzung der Biomasse stets zentral hineinwirkt
- Nachhaltigkeitsstandards und Zertifizierungssysteme für die Bereitstellung und Nutzung von Biomasse, die beide Aspekte zentral berücksichtigen und den einzelnen Produzenten bei der Verbesserung der Produktqualität unterstützen.

Literatur

Blankenship, R.E.; Tiede, D.M.; Barber, J.; Brudvig, G.W.; Fleming, G.; Ghirardi, M.; Gunner, M.R.; Junge, W.; Kramer, D.M.; Melis, A.; Moore, T.A.; Moser, C.C.; Nocera, D.G.; Nozik, A.J.; Ort, D.R.; Parson, W.W.; Prince, R.C.; Sayre, R.T. (2011): Comparing Photosynthetic and Photovoltaic Efficiencies and Recognizing the Potential for Improvement. In: Science. Vol. 332 (No. 6031). pp. 805–809. doi: 10.1126/science.1200165. ISSN 0036-8075, 1095-9203

Brosowski, André; Adler, Philipp; Erdmann, Georgia; Thrän, Daniela, Mantau, Udo; Blanke, Christian; Mahro, Bernd; Hering, Thomas; Reinholdt, Gerd: Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen – Status quo in Deutschland. Unveröffentlchter Bericht. DBFZ 2015.

Chum, H., A. Faaij, J. Moreira, G. Berndes, P. Dhamija, H. Dong, B. Gabrielle, A. Goss Eng, W. Lucht, M. Mapako, O. Masera Cerutti, T. McIntyre, T. Minowa, K. Pingoud, 2011: Bioenergy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

FAO (2012): World Agriculture Towards 2030/2050. The 2012 Revision

Godfray et al. (2010): S. 2770; von Witzke/Noleppa/Schwarz 2008, S. 11 f.

Haberl, H., Erb1, K.-H., Krausmann, F., Running, S., Searchinger, T.D., Smith, W. K. (2013): Bioenergy: how much can we expect for 2050? Environ. Res. Lett. 8 (2013) 031004

IEA (Hrsg.) (2013): World Energy Outlook 2013. International Energy Agency. Paris. ISBN: 978-92-64-20130-9

NOVA (2013): Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe in Nutzungskonkurrenz zur Lebens- und Futtermittelproduktion, Bioenergie sowie zur stofflichen Nutzung in Deutschland, Europa und der Welt. Präsentationen im Rahmen des Workshops der nova-Institut GmbH in Berlin am 16.12.2013

Raschka, A., Carus, M. (2012): Stoffliche Nutzung von Biomasse - Basisdaten für Deutschland, Europa und die Welt. Förderkennzeichen 3710 93 109

UN (2013): World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Working Paper No. ESA/P/WP.228

Prof. Dr. Christian Jung

Christian-Albrechts-Universität Kiel
Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
Am Botanischen Garten 1-9, R.901a
E-Mail: c.jung@plantbreeding.uni-kiel.de

Neue Methoden der Pflanzenzüchtung zur Selektion und gezielten Veränderung von Nutzpflanzen

Abstract
Die enormen Fortschritte der Genomforschung ermöglichen heute eine äußerst präzise Bewertung des Genotyps einer Nutzpflanze. Dadurch können Pflanzenzüchter eine Selektionsentscheidung allein anhand einer Genotypisierung vornehmen. Dies betrifft sowohl monogene als auch quantitative Merkmale, die durch das Zusammenwirken vieler Gene bedingt sind. Bestrebungen, die Qualität der pflanzlichen Biomasse zu verbessern, greifen meist auf der Ebene des einzelnen Gens ein. So ist es möglich, gezielt Stoffwechselwege zu verändern, um beispielsweise einen besseren Aufschluss der Biomasse zu gewährleisten. Auf der anderen Seite kann die Biomasseproduktion durch die Veränderung der phänologischen Entwicklung einer Pflanze erhöht werden. Dies kann durch Selektion erwünschter Formen aber auch durch gezielte Veränderung sogenannter (Lebenszyklus-) Gene erfolgen. Derartige Gene werden am Institut für Pflanzenzüchtung der Universität Kiel seit geraumer Zeit molekular untersucht. So verfolgen wir das Ziel, Gene, die die Blütenentwicklung der Pflanze steuern, derart zu verändern, dass das Vernalisationsbedürfnis beeinflusst wird. Die Veränderung des Lebenszyklus einer Nutzpflanze kann sehr präzise durch gentechnische Maßnahmen erfolgen. Alternativ werden Mutationen in entsprechenden Blühregulatoren induziert, die zu drastischen Veränderungen in der phänologischen Entwicklung einer Pflanze führen. Konkret zielen die Arbeiten auf die Züchtung einer Zuckerrübe (*Beta vulgaris*) hin, die bereits vor dem Winter gesät werden kann und im nächsten Jahr geerntet wird. Eine derartige Winterrübe hätte ein um bis zu 25 % erhöhtes Ertragspotential und wäre als nachwachsender Rohstoff für die Zuckergewinnung aber auch als Substrat für die Biogas-Produktion von großem Interesse.

Prof. Dr. Heinz Bernhardt

Technische Universität München
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
Am Staudengarten 2, D-85354 Freising
E-Mail: heinz.bernhardt@wzw.tum.de

Innovationen in agrartechnischen Prozessen der Biomassegewinnung

Einleitung

Biomassegewinnung stellt in der Landtechnik schon immer ein grundlegender Prozess da. So gehörte Anbautechnik für Lein und Hanf zur Faserproduktion, für Lein und Sonnenblumen zur Ölproduktion oder für Mohn und Stechapfelproduktion zur Arzneiproduktion bis nach dem zweiten Weltkrieg zum Standard in Deutschland. Danach verlagerte sich die Produktion wegen höherer Erträge oder geringeren Kosten hauptsächlich ins Ausland und die entsprechende Nachfrage wird heute z.B. über Baumwolle oder Ölpalmen abgedeckt.

In den letzten Jahren gab es immer wieder Bestrebungen die Biomassegewinnung in der deutschen Landwirtschaft zu fördern, wie z.B. Rapsmethylester (RME) als Treibstoff oder Biogas zur Energiegewinnung. Dies löste auch entsprechende Innovationen in der Landtechnik aus. Teilweise konnten sich die Rohstoffe am Markt nicht dauerhaft etablieren aber die von ihnen ausgelösten Innovationen konnten sich in anderen Bereichen etablieren.

Biomassegewinnung als Innovationstreiber

An verschiedenen Entwicklungszyklen der letzten Jahre sollen die Auswirkungen auf die Agrartechnik dargestellt werden.

Seit Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts zeichnete sich ein Trend zu Treibstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe ab. Besonders Rapsöl und Rapsmethylester (RME) konnten sich durch die staatliche Förderung deutlich am Markt etablieren. Dies förderte entsprechende Entwicklungen in der Motorentechnik und in der Entwicklung regionaler Ölmühlen. Besonders bei Motoren wurden Systeme für alternative Treibstoffe deutlich weiter entwickelt. Beide Entwicklungen brachen erst einmal mit der Aufhebung der Steuerbefreiung von RME ab 2008 ein.

Die staatliche Förderung der regenerativen Energien aus verstromtem Biogas führte

ab 2000 zu einem deutlichen Ausbau von Biogasanlagen. Besonders die Möglichkeit der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Biogaserzeugung und hier speziell Silomais, löste einen großen Innovationsschub in der Agrartechnik aus. Große Mengen Silomais mussten nun geerntet und transportiert werden. Dies führte im Feldhäckslerbau zu einer deutlichen Größensteigerung der Maschinen von ursprünglich 220 bis 370 kW auf über 735 kW Motorleistung. Auch alternative Antriebskonzepte auf Basis von Hydraulik und als Forschungskonzept Elektrik konnten sich als Ergebnis des Biomasseanbaues etablieren.

Ein gewaltiger Innovationsschub wurde im Bereich Agrarlogistik ausgelöst. Dies umfasste nicht nur die Logistik von Gütern sondern auch die der damit zusammenhängenden Daten. Durch die große Nachfrage konnten Grundsatzfragen der Logistik angegangen werden und neue Konzepte wie z.B. der Bunkerhäcksler, Überladefahrzeuge für Schüttgüter oder Umladefahrzeuge bis zur Praxisreife entwickelt werden. Auch die Entwicklung der Transportfahrzeuge wurde angestoßen. Beispiele hierfür sind neue Transporterkonzepte, wie der Abschiebewagen, spezielle Feld-LKW mit angepasstem Fahrwerk oder Transportgeschwindigkeiten von 60 km/h beim Standardtraktor.

Um die umfangreichen Logistikketten managen zu können mussten die bestehenden Datenmanagementsysteme deutlich weiter entwickelt werden. Für Ansätze, die schon früher vorhanden waren, war nun ein Markt vorhanden und sie konnten umgesetzt werden. Besonders deutlich wird dies an der Umsetzung des ISO-Bus Systems. Durch den nun umgesetzten praktischen Einsatz der Datenschnittstellen können viele Problembereiche aufgedeckt und damit beseitigt werden. Durch die Verwendung von Sensoren auf den Erntefahrzeugen können bereits früher im Produktionsprozess Qualitätsdaten der Produkte erfasst werden. Der NIRS Sensor im Feldhäcksler ermöglicht z.B. Aussagen über die Erntemenge, den Trockensubstanzgehalt und Inhaltsstoffverteilung des Erntegutes. Als aktuelles Glied dieser Innovationskette zeichnet sich die Entwicklung von Datennetzwerke zwischen den einzelnen Maschinen auf der Fläche ab. So übernimmt z.B. der Feldhäcksler die Lenkung des Transportfahrzeuges während des Ladevorganges oder Optimierungsprogramme steuern automatisch die Logistikketten.

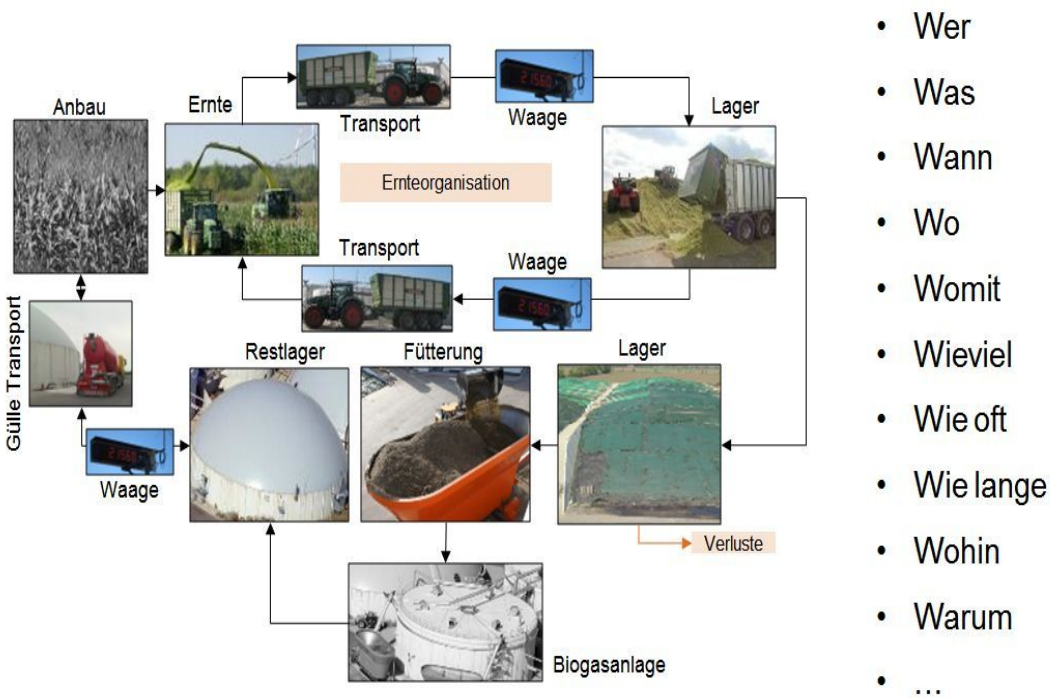


Abbildung 1: Datenmanagement in Biogasprozessketten

Durch die Anpassungen der Gesetzeslage wird der Biogassektor aktuell in seiner Entwicklung deutlich gebremst. Beide Entwicklungen zeigen aber auch, dass Biomassenutzung nicht nur Innovationen im Agrartechnikbereich fördern kann, sondern auch Ressourcen bindet und durch die politisch verursachten Marktzusammenbrüche auch Entwicklungen behindert.

Ausblick

Aktuell zeichnet sich Trend zu einer strukturierteren Nutzung von Biogasreaktoren ab. So wird nicht mehr nur das Ziel der Verstromung von Biomethan verfolgt, sondern auch die Wärmenutzung nimmt deutlich an Bedeutung zu. Wobei auch hier die politischen Diskussionen entsprechend zukunftsgerichtete Innovationen ausbremsen. Zusätzlich wird der Aspekt der gezielten Rohstoffgewinnung im Biogasreaktor wichtiger, erste Ansätze für die gezielte Erzeugung chemischer Grundstoffe sind zu beobachten. Hier könnte sich auch die Möglichkeit ergeben aus speziellen Substratpflanzen über den Bioreaktor einfach zielgerichtete Grundrohstoffe zu erzeugen, was wiederum auch eine Weiterentwicklung der entsprechenden Produktionstechnik notwendig macht.

Als weiterer Trend in der Biomassegewinnung zeichnet sich die Kaskadennutzung und der Nutzung von Koppelprodukten ab. Hierbei sind besonders Kulturen interessant deren Hauptprodukt bereits in der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie etabliert ist. Zusatzprodukte müssen somit nicht mehr die gesamten Kosten der Produktion tragen sondern nur noch ihre Spezialkosten.

Ein Beispiel dafür ist die Spelzen und Strohernte beim Mähdrescher. Hierbei werden die Spelzen sowie rund 25% des Strohertrages bei der Getreideernte mit geerntet. Mit dem verbleibenden Stroh kann die Humusversorgung des Bodens sichergestellt werden. Das Spelzen-Stroh-Gemisch kann thermisch verwertet werden oder es gibt erste interessante Ansätze in Verbundstoffen. Einen ähnlichen Ansatz gibt es in der Körnermaisernte, hier werden die Spindeln in einem aufgebauten Bunker separat geerntet. Diese können als Einstreu, Ölbindemittel oder als Dämmstoff verwendet werden. Auch Rapsstroh kann zusätzlich geerntet werden und nach einer Pelletierung als Brennstoff genutzt werden. All diese Lösungen haben gemeinsam, dass sie mit geringem technischem Umbau an Standardmaschinen integriert werden können und kaum zusätzlichen Aufwand verursachen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aktuell in der Agrartechnikbranche Entwicklungen die von der Biomasseproduktion hervorgerufen wurden weiter entwickelt werden wenn sie eine allgemeine Verwertbarkeit wie z.B. die Datenkommunikation und die Ernte Sensorik haben und man sich auf dem unsicheren Markt Biomasseproduktion mit Spezialentwicklungen derzeit etwas zurück hält.

Literatur

Bernhardt, H.; D. Engelhardt (2014): Logistik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2013. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2014. – S. 1-9, http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055003

Ettl, J., G. Wolf, H. Bernhardt (2012): EDV-gestützte Erntelogistik und Dokumentation - Chancen und Grenzen, In: Biogas Forum Bayern, Nr. II – 19/2012, Hrsg.: ALB Bayern.

Haas, R., E. Remmele (2011): Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung, Band 26 TFZ-Berichte, http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/biokraftstoffe/dateien/26_bericht.pdf

Handler F., Blumauer E., Sulzbacher L. (2014): Technik und Kosten der Ernte von Maisspindeln - Umbauten gestalten sich je nach System unterschiedlich aufwendig. mais - Die Fachzeitschrift für Spezialisten, Heft 03/2014, S.118-121

Heckmann, M., M. Gallmeier, H. Auernhammer, H. Bernhardt (2010): Lasten im Fahrantriebsstrang eines selbstfahrenden Feldhäckslers; Landtechnik 65, Nr. 1, S.38-41.

Horstmann, J.: Kommunikationssysteme und Web-Lösungen in der Landtechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2014. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2015. – S. 1-7

Doris Schieder[1], Dominik Schwarz[1], Jörg Dörrstein[2], Cordt Zollfrank[2], Volker Sieber[1]

[1]Lehrstuhl für Chemie Biogener Rohstoffe
[2]Fachgebiet Biogene Polymere
Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Straubing
Schulgasse 16, 94315 Straubing
E-Mail: doris.schieder@tum.de

Kaskadennutzung von Biomasse

Einleitung

Die Kaskadennutzung von Biomasse hat – im Sinne einer Bioraffinerie - zum Ziel, Biomassen gestuft zu fraktionieren und potenziell werthaltige Inhaltstoffe für eine weiterführende Nutzung als separate Fraktionen zu gewinnen. Verbleibende Restmassen können zur Energiegewinnung herangezogen werden, so dass insgesamt eine kombinierte stofflich–energetische Nutzung der verarbeiteten Rohstoffe erreicht wird. Werthaltige Fraktionen können je nach Rohstoff Saccharide, Fette/Öle, Proteine, Lignin, aber auch sekundäre Inhaltstoffe oder sonstige Nebenbestandteile sein. Im Falle grüner Biomassen stehen vor allem Proteine, cellulosehaltige Fasermaterialien sowie Saccharide, die als Fermentationssubstrate dienen können, im Fokus. Bei siliertem Material wird zudem die Separation von Milchsäure und Essigsäure vorgeschlagen (Krotscheck et al., 2004, Temporärer Arbeitskreis „Roadmap Bioraffinerien“, 2012, Sieker et al., 2011).

Konzept zur Kaskadennutzung von Grassilage

Das am Wissenschaftszentrum Straubing im Rahmen eines Verbundvorhabens[1] verfolgte Konzept zur Kaskadennutzung von Grassilage (Abbildung 1) zielt speziell auf die Gewinnung von Saccharidströmen zur Fermentation und auf die Gewinnung von Lignin zur werkstofflichen Nutzung. Grassilage bietet gegenüber nicht silierter grüner Biomasse den Vorteil einer ganzjährigen Verfügbarkeit. Allerdings können die durch die Silierung entstehende Milchsäure und eventuell weitere organische Säuren fermentationshemmend wirken (Sieker et al., 2011), so dass die Aufbereitungsstrategie je nach Zielrichtung der Fermentation gegebenenfalls anzupassen ist.

Im ersten Schritt einer Bioraffination von Gras oder Grassilage wird in der Regel das Abpressen des vorzerkleinerte Aufgabegutes vorgeschlagen, z.B. mit Hilfe einer Schneckenpresse (Krotscheck et al., 2004). Dieser Schritt wurde auch im vorliegenden Konzept übernommen, da er einerseits die Gewinnung eines Presssaftes als separate Fraktion bzw. die Reduktion des Säuregehaltes im

[1] Das Projekt „Hof-Bioraffinerie für die dezentrale Bereitstellung von Dieselkraftstoffen“ wird finanziert durch „Sondermittel des Freistaates Bayern zur Energiewende (Bereich Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst)“

Presskuchen ermöglicht und andererseits bereits eine Zerkleinerung und Zerfaserung und damit einen ersten Strukturaufschluss des Presskuchens darstellt. Für die nachfolgende Gewinnung von Monosacchariden aus den Polysacchariden (Cellulose, Hemicellulose) des Presskuchens wurde am Lehrstuhl für Chemie Biogener Rohstoffe eine durch weitere mechanische Aufbereitungsschritte unterstütze mehrstufige Hydrolyse mit cellulolytischen Enzymen entwickelt. Das so erhaltene saccharidhaltige flüssige Hydrolysat bildet das Substrat für die Hauptfermentation der Kaskade. Abhängig von Zielrichtung und Fermentationsstamm kann der Presssaft ganz oder teilweise der Hauptfermentation zugeführt bzw. separat fermentiert werden. Der nach der enzymatischen Hydrolyse verbleibende Rückstand aus der Presskuchenfraktion enthält neben nicht umgesetzten Polysacchariden insbesondere Lignin, das im nächsten Schritt der Kaskade durch geeignete Extraktion gewonnen wird. Die am Ende der Kaskade verbleibenden organischen Bestandteile können einer Biogasanlage zur Energiegewinnung zugeführt werden.

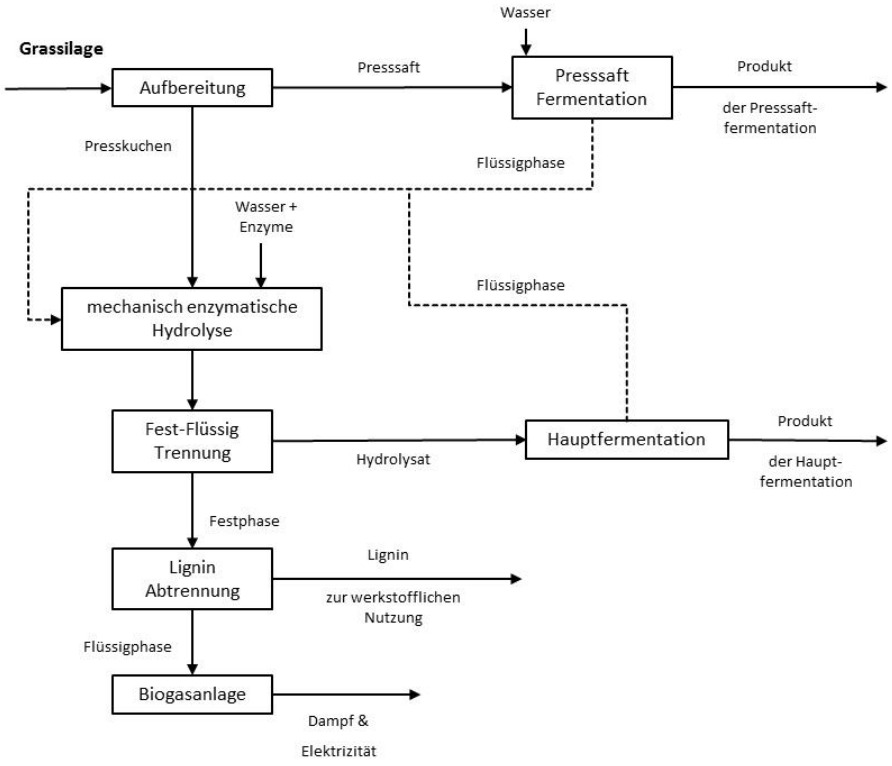


Abbildung 1: Schema zur Fraktionierung und Kaskadennutzung von Grassilage

Experimentelle Ergebnisse

Die Abpressung von vorzerkleinertem (< 5 mm Faserlängen) siliertem Wiesengras, das vor allem Süßgräser enthielt, mit einer Seiherstab-Schneckenpresse ergab einen Abpressgrad der Feuchte von 67%, wobei der Trockenmassegehalt von 29% in der Silage auf 48% im Presskuchen anstieg. Der Silagepressaft (Tabelle 1) enthielt neben

Milchsäure weitere organische Säuren, sowie Restgehalte an Sacchariden und rund 16 g/L Mannitol, einem beim Siliervorgang entstehendem Abbauprodukt der Fructose (Saha & Racine, 2011).

Bei der mechanisch-enzymatischen Hydrolyse des Presskuchens mit kommerziell erhältlichen cellulolytischen Enzymen bestand die Herausforderung unter anderem darin, die Hydrolyse trotz hoher Wasseraufnahmefähigkeit des Fasermaterials bei möglichst hohen Trockenmassegehalten bzw. möglichst geringer Flüssigkeitszufuhr durchzuführen. Im Rahmen der bisherigen Arbeiten konnte ein Hydrolysat mit einem Monosaccharidgehalt von 65 g/L, davon überwiegend Glucose, erhalten werden. Gegenüber dem Silagepressaft war das C:N-Verhältnis deutlich erhöht, was insbesondere für Fermentationsrouten mit N-Limitierung von Vorteil sein kann. Das Hydrolysat enthielt noch organische Säuren, da noch am Presskuchen anhaftenden Saftanteile vor der Hydrolyse nicht entfernt worden waren (Tabelle 1). Durch einen Waschschritt vor der Hydrolyse besteht die Möglichkeit, die Säuren weiter zu reduzieren und das C:N-Verhältnis nochmals anzuheben.

Aus dem Rückstand der enzymatischen Hydrolyse konnte durch Lösungsmittelextraktion etwa 47 m% des in der Silage vorhandenen Lignins gewonnen werden. Es zeigte eine hohe Reinheit mit geringem Asche-, Schwefel-, Restzucker- und Proteingehalt. Mittels Dynamischer Differenzkalorimetrie (DDK) wurde eine Glasübergangstemperatur von 125°C beobachtet. Eine thermogravimetrische Analyse (TGA) ergab, dass über diesen Herstellungsweg thermisch stabile Lignine erhalten werden können, die sich für den Einsatz in thermoplastischen Blendsystemen eignen.

Tabelle 1: Charakterisierung der Fraktionen „Presssaft“ und „Hydrolysat“

	Presssaft	**Hydrolysat**
pH (20 °C)	4,32	4,03
Trockenmasse [% FM]	12,2 ± 0,1	12,5 ± 1,1
C/N Verhältnis	7,5 – 9,6	23,0 ± 0,1
Organische Säuren [g L^{-1}]		
Milchsäure	36,7	8,6 ± 0,1
Essigsäure	8,2	3,5 ± 0,1
Bernsteinsäure	3,3	0,8 ± 0,1
Buttersäure	3,0	0,5 ± 0,2
Monosaccharide und Polyole [g L^{-1}]		
Glucose/Mannose	3,9	48,1 ± 0,4
Fructose/Xylose/Galactose	5,9	16,7 ± 0,1
Glycerin	1,6	0,6 ± 0,1
Ethanol	2,6	0,3 ± 0,0
Mannitol	14,4	k.A.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der Kombination aus mechanischem und enzymatischem Aufschluss konnte eine Saftfraktion und eine Hydrolysatfraktion gewonnen werden, die im Weiteren als Fermentationsmedien untersucht werden. Für die Saftfraktion bieten sich dabei Fermentationen an, die bevorzugt Säuren als Substrat nutzen. Für das Hydrolysat werden derzeit Fermentationsrouten zur Gewinnung gasförmiger Olefine entwickelt. Die Ligninfraktion wird auf ihre Eignung als Compoundierwerkstoff geprüft. Insgesamt stellt die mechanisch-enzymatische Aufbereitung eine Verfahrenskombination dar, die insbesondere für die Silageverarbeitung in kleineren, dezentralen Anlagen geeignet sein dürfte.

Literatur

Krotscheck, Ch., et al.: Grüne Bioraffinerie, Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 3/2004, Hrsg: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

Temporärer Arbeitskreis „Roadmap Bioraffinerien“ (Vorsitz: K. Wagemann): Roadmap Bioraffinerien, Hrsg: Bundesministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin, Stand Mai 2012

Sieker, T., et al.: Ethanol production from grass silage by simultaneous pretreatment, saccharification and fermentation: First steps in the process development Eng. Life Sci. 2011, 11, No. 4, 436–442

Saha, B. C., Racine, M.: Biotechnological production of mannitol and its applications, Appl Microbiol Biotechnol (2011) 89, 879–891

Dr. Martin Frettlöh

Quh-Lab
Siegener Straße 29, 57080 Siegen
E-Mail: martin.frettloeh@quh-lab.de

Biobaukastenprinzip zur effizienten, kaskadenartigen Nutzung von pflanzlichen industriellen Nebenströmen zur Herstellung spezifisch nutzbarer Produkte

Einleitung

Landwirtschaftliche Nebenströme wie beispielsweise Stroh, Grasschnitt, Trester, diverse Schlempen und Presskuchen besitzen ein hohes energetisches und chemisches Potential zur Weiterverwertung und Herstellung verschiedener Produkte. Die Hauptkomponenten pflanzlichen Materials stellen Cellulose, Hemicellulose und Lignin, das zweithäufigste Biopolymer der Erde, dar. Bereits heute wird Lignin aus industriellen Nebenströmen zur Energiegewinnung genutzt. Ebenso werden Lignosulfonate aus dem Sulfitverfahren als Dispergier- und Bindemittel verwendet und auch in der Lebensmittelindustrie kommt die Weiterverwertung von lignocellulosehaltigen Nebenströmen zum Einsatz. So gelang bereits die Xylitolfermentation (Zuckeraustauschstoff) aus Stroh (1). Aufgrund der Tatsache, dass nach Herstellung eines Produktes noch Restsubstrat verfügbar ist, bietet sich eine kaskadenartige, multitrophe Nutzung bis zur weitgehenden Energielosigkeit des Ausgangssubstrates an.

Aufschluss von lignifiziertem, pflanzlichem Material

Lignin ist aus den aromatischen Grundeinheiten Coniferyl-, Sinapyl- und Cumarylalkohol (2,3) aufgebaut. Die Phenylpropangrundeinheiten, die teilweise am Phenylring methoxyliert und am Propanrest hydroxyliert sind, werden durch Ether- und C-C-Bindungen auf unterschiedliche Weise miteinander verknüpft, was zur Entstehung eines komplexen dreidimensionalen Netzwerkes führt, in dem Cellulose und Hemicellulose eingebunden sind. Für die Isolierung einzelner Bestandteile, Kohlenhydrate und aromatischer Verbindungen, bedarf es eines Aufschlusses des Lignocellulosegerüstes. Da das Netzwerk chemisch nur schwer angreifbar ist, werden zum Aufschluss hohe Temperaturen und Druck oder ein niedriger pH-Wert benötigt (4-6). Asco- und Basidiomyceten (Schlauch- und Ständerpilze) besitzen die einzigartige Fähigkeit, lignocellulosehaltige Biomaterialien durch alternierende Sekretion unterschiedlicher Enzyme in das umgebende Substrat abzubauen.

Herstellung von veganen Lebensmitteln aus ligninhaltigen landwirtschaftlichen Nebenströmen

Momentan ist es bereits möglich, aus Nebenströmen der Argrarwirtschaft, mittels Fermentation durch Pilze mikrobielles Protein für die Herstellung vegetarischer Lebensmittel zu gewinnen. *Pleurotus ssp.* eignet sich besonders gut zur Fermentation, da er mit 51% des Gesamtproteins relativ hohe Gehalte an essentiellen Aminosäuren aufweist (11), die lebensnotwendig sind, vom humanen Organismus aber nicht aus elementaren Bestandteilen selbst aufgebaut werden können. Vorteilhaft ist dabei, dass alle essentiellen Aminosäuren im Protein von *Pleurotus ssp.* vorhanden sind (11). Zudem liegt die Eiweißqualität von *Pleurotus* Arten erheblich über der von anderen Nahrungsmitteln pflanzlicher Herkunft und entspricht fast der von Nahrungsmitteln tierischen Ursprungs (11). Das durch Fermentation von Pilzen entstandene Produkt eignet sich daher hervorragend, um Mangelerscheinungen, insbesondere in der veganen Ernährung (z.B. Aminosäuremangel) zu vermeiden bzw. auszugleichen. Durch Vitamine kann zusätzlich eine Aufwertung des Produktes erzielt werden. Durch sektionierte Entnahme des kultivierten Pilzmyzels wird weiterhin ermöglicht, Inhaltsstoffe, die für bestimmte Konsumenten belastend sein können, gezielt durch Bakterien abzubauen.

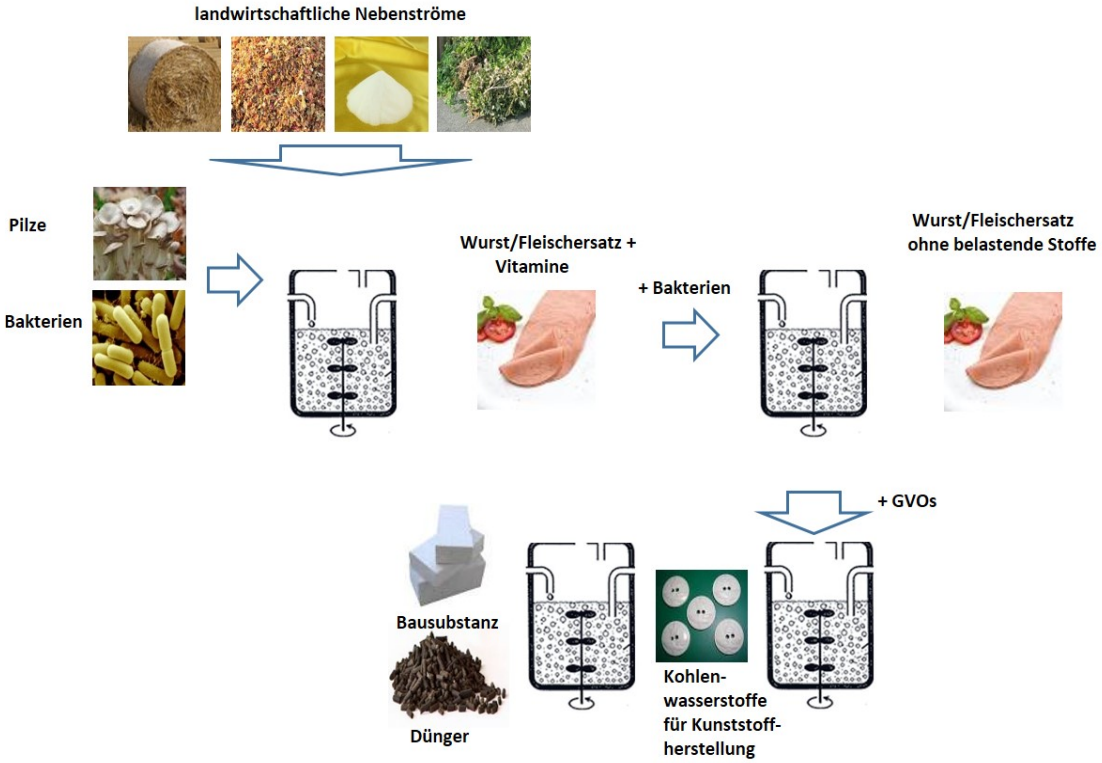


Abb. 1: Beispiel einer kaskadenartigen Nutzung von pflanzlichen industriellen Nebenströmen bis zum kompletten Verbrauch des Ausgangssubstrates.

Weiterverwertung des Restsubstrates

In der Restkultur findet sich immer noch verwertbares Substrat für eine sich anschließende weitere Fermentation (Abb.1). Selbst bei komplettem Substratverbrauch durch die Pilze ist davon auszugehen, dass sich noch verwertbare Substanzen in der Kultur finden, da die Pilze zum Einen extrazelluläre Proteine produzieren, die beispielsweise durch Bakterien weiter verwendet werden können. Zum Anderen kommt es aufgrund von Nahrungskonkurrenz und Stress während der Kulturzeit, vergleichbar mit Bakterienwachstum, zum Eintritt der Pilze in die stationäre Phase bzw. im Anschluss zur Absterbephase. Die Autolyse während der Absterbephase führt zur Freisetzung neuer verwertbarer Produkte. Zudem kann für die Fermentation von diversen Substraten zur Erzeugung eines proteinreichen Nahrungsmittels der Basidiomycet *Pleurotus sapidus* verwendet werden. Dieser führt den Abbau von Lignin aus. Die Cellulosekomponenten stehen daher für den weiteren Aufschluss beispielsweise durch andere Weißfäulepilze (7-10) und Ascomyceten zur Verfügung. Die Kultivierung gentechnisch veränderter Organismen in den Fermentationsüberständen könnte zur Generierung bestimmter Stoffe verwendet werden, die in anderen Industriezweigen Verwendung finden. So könnte es beispielsweise möglich sein, Stoffe durch GVOs zu produzieren, die etwa zur Kunststoffherstellung genutzt werden können. Das nach mehreren Fermentationsschritten resultierende Restprodukt, das von den Pilzen produzierte extrazelluläre Proteine, nach Autolyse freigesetzte Zellsubstanzen der Pilze und Bakterien enthält, könnte möglicherweise als getrocknete und gepresste Bausubstanz etc. dienen. Zusammenfassend betrachtet kann mit Hilfe einer multitrophen Kaskade aufeinander abgestimmter Mikroorganismen eine optimale Verwertung erzielt werden. Ähnlich wie Wasserpflanzen, verschiedene Fischarten und Weichtiere in modernen Fischfarmen zur optimalen Substratnutzung großflächig aufeinander abgestimmt werden, können Pilze und Bakterien in verschiedenen, miteinander verbundenen Lebensräumen in Fermentern auf die komplette Nutzung eines Ausgangsstoffes eingestellt werden.

Literatur

(1) http://pfibiotechnology.de/uploads/media/Stoffliche_und_energetische_Nutzung_von_Stroh_01.pdf

(2) Sarkanen, K. V.; Ludwig, C. H. (Hg.): (1971) Lignins: Occurrence, Formation, Structure and Reactions. New York, Wiley-Interscience

(3) Adler, E. (1977) Lignin Chemistry -Past, Present and Future, Wood Sci Tech 11, 169–218

(4) Ohgren, K.; Bengtsson, O.; Gorwa-Grauslund, M. F.; Galbe, M.; Hahn-Hagerdal, B.; Zacchi, G.(2006) Simultaneous Saccharification and Co- Fermentation of Glucose and Xylose in Steam-Pretreated Corn Stover at High Fiber Content with Saccharomyces cerevisiaeTMB3400, J Biotechnol 126, 488–498

(5) Ruiz, E.; Cara, C.; Manzanares, P.; Ballesteros, M.; Castro, E. (2008) Evaluation of Steam Explosion Pre-Treatment for Enzymatic Hydrolysis of Sunflower Stalks, Enzyme Microb Technol 42, 160–166

(6) Guo, G. L.; Chen, W. H.; Chen, W. H.; Men, L. C.; Hwang, W. S.(2008) Characterization of Dilute Acid Pretreatment of Silvergrass for Ethanol Production, Bioresour Technol 99, 6046–6053

(7) Henriksson, G.; Nutt, A.; Henriksson, H.; Pettersson, B.; Stahlberg, J.; Johansson, G.; Pettersson, G. (1999) Endoglucanase 28 (*cel12A*), a new *Phanerochaete chrysosporium* Cellulase, *Eur J Biochem* 259, 88–95.

(8) Pettersson, G.; Porath, J. (1963) Studies on Cellulolytic Enzymes .2. Multiplicity of Cellulolytic Enzymes of *Polyporus versicolor*, *Biochim Biophys Acta* 67, 9-15.

(9) Uzcategui, E.; Ruiz, A.; Montesino, R.; Johansson, G.; Pettersson, G. (1991) The 1,4-β-D-Glucan Cellobiohydrolases from *Phanerochaete chrysosporium*. 1. A System of Synergistically Acting Enzymes Homologous to *Trichoderma reesei*, *J Biotechnol* 19, 271–285.

(10) Willick, G. E.; Seligy, V. L. (1985) Multiplicity in Cellulases of *Schizophyllum commune* - Derivation Partly from Heterogeneity in Transcription and Glycosylation, *Eur J Biochem* 151, 89–96.

(11) Eder, J.; Wünsch, A. (1991) Untersuchungen über die Eiweißqualität von Austernpilzen (Pleurotus spp.), Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm. 13, 25-29

Prof. Dr. Dirk Prüfer

Institut für Biologie und Biotechnologie der Pflanzen
Westfälische Wilhelms-Universität Münster/Fraunhofer
Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie
IME, Schlossplatz 8, 48143 Münster
E-Mail: dpruefer@uni-muenster.de

Von der Pusteblume zur Industriepflanze: hochwertiger Naturkautschuk für die gummiverarbeitende Industrie

Einleitung

Vernetzter (”vulkanisierter”) Naturkautschuk ist ein unverzichtbarer Ausgangs- und Ergänzungsstoff für eine breite Palette an hochwertigen Gummiprodukten des täglichen Lebens. Er zeichnet sich aus durch extreme Elastizität, Zugfestigkeit und Kälteflexibilität – Eigenschaften, die man bislang nicht künstlich erzeugen kann. Daher bleibt Naturkautschuk ein entscheidender Qualitätsfaktor für viele Gummiprodukte. Angewandt wird er vor allem in der Fahrzeugindustrie, zum Beispiel für den Bau von Reifen, aber auch als Korrosionsschutz, Dicht- und Isolierungsmaterial.

Naturkautschuk wird überwiegend aus dem Latex des Kautschukbaums *Hevea brasiliensis* gewonnen. Diese subtropische Baumart wird vorrangig im sogenannten Kautschukgürtel kultiviert. Südost-Asien macht mit seinen Plantagen einen Anteil von ca. 95 Prozent der Gesamtproduktion aus. Aufgrund der stetig wachsenden Nachfrage ist die Produktion jedoch an ihre Kapazitätsgrenze gestoßen. Die Folge: Naturflächen, beispielsweise Regenwälder, werden in Agrarlandschaften umgewandelt, um dem Engpass zu begegnen.

Russischer Löwenzahn ist eine exzellente und effiziente Alternative zum Kautschukbaum, da sein Naturkautschuk alle für die Anwendung relevanten Qualitätskriterien als Rohstoff wie auch in verschiedenen Materialien erfüllt. Die Biologie des Russischen Löwenzahns erlaubt es nun erstmalig, die Kautschuk-Biosynthese molekular zu entschlüsseln und mit dem daraus resultierenden Wissen Zuchtlinien zu entwickeln, die die Produktion von Naturkautschuk außerhalb der traditionellen Anbaugebiete ermöglicht. Hierdurch kann weltweit ein neuer, biobasierter Industriezweig in Ländern mit gemäßigtem Klima (z. B. in Deutschland) entstehen. Dadurch werden Bedarfsspitzen abfangen und die Reserven an fossilem Erdöl, das die Grundlage für synthetisch hergestellten Kautschuk bildet, sichtbar geschont.

Stand des Forschungsvorhabens

Ziel unserer Forschung ist die Einführung des Russischen Löwenzahns (*Taraxacum koksaghyz*) in die moderne Landwirtschaft. Diese Industriepflanze soll dabei nicht in Konkurrenz zum Anbau konventioneller Nutzpflanzen treten. Der Russische Löwenzahn produziert große Mengen an hochwertigem Naturkautschuk. Weitere Vorteile: Die Pflanze wächst in gemäßigtem Klima, ist anspruchslos, benötigt für ihr Wachstum wenig Dünger, ist äußerst resistent gegen biotischen und abiotischen Stress und kann auf sekundären, marginalen Agrarflächen kultiviert werden, die für die Produktion von Nahrung nicht geeignet sind.

Die akademischen und industriellen Partner in unserem interdisziplinären Verbundprojekt schaffen alle Voraussetzungen, die zukünftig eine effiziente energetische und stoffliche Nutzung von Russischem Löwenzahn entlang der Wertschöpfungskette erlauben: Hierzu zählt vor allem die Analyse der molekularen Grundlagen der Kautschukbiosynthese, die Bereitstellung optimierter Zuchtklone, die Etablierung einer guten landwirtschaftlichen Praxis sowie deren Kommunikation mit Agrar- und Industrieverbänden, die Entwicklung von Aufarbeitungsverfahren zur Nutzung der pflanzlichen Rohstoffe und deren Verarbeitung für die direkte kommerzielle Verwertung.

Dieses Projekt trägt nachhaltig zur Schonung endlicher fossiler Ressourcen bei, außerdem zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, zur Etablierung von Bioraffinerien und zur Verhinderung der Umwandlung von Regenwäldern in Monokulturen.

Ergebnisse und Ausblick

Durch unsere interdisziplinären Ansätze in Forschung, Entwicklung und Produktion wurden wesentliche Grundlagen erarbeitet, die eine industrielle Nutzung des Russischen Löwenzahns in einem überschaubaren Zeitraum möglich machen. Hierzu zählt:

1. Die Aufklärung der zugrundeliegenden Biosynthesewege für Naturkautschuk im Russischen Löwenzahn

   Mittels molekularbiologischer Verfahren konnten wir erstmalig alle Schlüsselgene/-proteine funktional beschreiben, die für die effiziente Biosynthese von hochwertigem Naturkautschuk verantwortlich zeichnen. Die Ergebnisse wurden in Fachjournalen publiziert (siehe Literatur).

2. Züchtung

   Basierend auf den molekularen Erkenntnissen wurden umfangreiche Präzisionszüchtungs-Programme (markergestützte Züchtung) mit einem Zuchtunternehmen initiiert, die die Erstellung erster Zuchtlinien aus den Wildlinien ermöglichten. Die verbesserten Linien weisen einen deutlich höheren Kautschukgehalt und eine höhere Biomasse auf.

3. Etablierung einer guten landwirtschaftlichen Praxis

   Der Anbau von Russischen Löwenzahn auf großen Flächen bedarf der Erarbeitung

gezielter Vorgaben zur Aussaat, Kultivierung und Ernte. Neben der Entwicklung erster Saat- und Erntemaschinen auf Basis bestehender Geräte wurden bereits Anbauvorschriften für Landwirte erarbeitet.

4. Entwicklung eines wirtschaftlichen Extraktionsprozesses für Naturkautschuk aus dem Russischen Löwenzahn

   In Vorarbeiten wurden verschiedene Extraktionsprozesse auf ihre Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit (Ökobilanz) hin getestet. Dabei wurde ein relativ einfacher Prozess konzipiert, der innerhalb kurzer Zeit und unter Verwendung eines wasserbasierten Verfahrens die vollständige Extraktion von Naturkautschuk aus den Wurzeln ermöglicht.

5. Bestätigung der optimalen Rohstoff- und Materialeigenschaften

   Durch Projektpartner aus der Industrie wurde dem Naturkautschuk aus Löwenzahn eine hohe Rohstoff- und Materialqualität attestiert, die der des Kautschukbaums in allen Belangen äquivalent ist. Erste Sätze an Testreifen (Abb. 1) wurden produziert und erfolgreich getestet, und jüngst der Aufbau einer Pilotanlage zur Naturkautschuk-Extraktion im mehrfachen Tonnenmaßstab initiiert.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird eine Markteinführung für gummibasierte Produkte aus Löwenzahn in den nächsten fünf bis zehn Jahren angestrebt.

Abbildung 1: Hochleistungsreifen aus Löwenzahngummi (Taraxagum™)

Ausgewählte Veröffentlichungen

1 Epping, J., van Deenen, N., Niephaus, E., Stolze, A., Fricke, J., Huber, C., Eisenreich, W., Twyman, R.M., Prüfer, D., and Schulze Gronover, C. (2015). A rubber transferase activator is necessary for natural rubber biosynthesis in dandelion. Nature Plants, Advance Online Publication. DOI: 10.1038/nplants.2015.48

2 Laibach, N., Hillebrand, A., Twyman, R.M., Prüfer, D., and Schulze Gronover, C. (2015). Identification of a Taraxacum brevicorniculatum rubber elongation factor protein that is localized on rubber particles and promotes rubber biosynthesis. Plant J 82, 609-620.

3 Laibach, N., Post, J., Twyman, R.M., Schulze Gronover, C., and Prüfer, D. (2014). The characteristics and potential applications of structural lipid droplet proteins in plants. J Biotechnol 201, 15-27.

4 Xing, S., van Deenen, N., Magliano, P., Frahm, L., Forestier, E., Nawrath, C., Schaller, H., Schulze Gronover, C., Prüfer, D., and Poirier, Y. (2014). ATP citrate lyase activity is post-translationally regulated by sink strength and impacts the wax, cutin and rubber biosynthetic pathways. Plant J. 79, 270-284.

5 Fricke, J., Hillebrand, A., Twyman, R.M., Prüfer, D., and Schulze Gronover, C. (2013). Abscisic acid-dependent regulation of small rubber particle protein gene expression in Taraxacum brevicorniculatum is mediated by TbbZIP1.1. Plant Cell Physiol 54, 448-464.

6 Munt, O., Prüfer, D., and Schulze Gronover, C. (2013). A novel C–S lyase from the latex-producing plant Taraxacum brevicorniculatum displays alanine aminotransferase and L-cystine lyase activity. J Plant Physiol 170, 33-40.

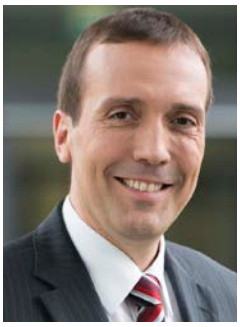
7 Hillebrand, A., Post, J.J., Wurbs, D., Wahler, D., Lenders, M., Krzyzanek, V., Prüfer, D., and Schulze Gronover, C. (2012). Down-regulation of small rubber particle protein expression affects integrity of rubber particles and rubber content in Taraxacum brevicorniculatum. PLoS One 7, e41874.

8 Wahler, D., Colby, T., Kowalski, N.A., Harzen, A., Wotzka, S.Y., Hillebrand, A., Fischer, R., Helsper, J., Schmidt, J., Schulze Gronover, C., and Prüfer, D. (2012). Proteomic analysis of latex from the rubber-producing plant Taraxacum brevicorniculatum. Proteomics 12, 901-905.

9 Post, J.J., van Deenen, N., Fricke, J., Kowalski, N., Wurbs, D., Schaller, H., Eisenreich, W., Huber, C., Twyman, R.M., Prüfer, D., and Schulze Gronover, C. (2012). Laticifer specific cis-prenyltransferase silencing affects the rubber, triterpene and inulin content of Taraxacum brevicorniculatum. Plant Physiol 158, 1406-1417.

10 Schmidt, T., Lenders, M., Hillebrand, A., van Deenen, N., Munt, O., Reichelt, R., Eisenreich, W., Fischer, R., Prüfer, D., and Schulze Gronover, C. (2010) Characterization of rubber particles and rubber chain elongation in Taraxacum koksaghyz. BMC Biochem, 11:11.

11 Wahler, D., Schulze Gronover, C., Richter, C., Foucu, F., Twyman, R.M., Moerschbacher, B.M., Fischer, R., Muth, J., and Prüfer, D. (2009). Polyphenoloxidase silencing affects latex coagulation in Taraxacum species. Plant Physiol 151, 334-346.



PD Dr. Peter Eisner

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
IVV, Giggenhauser Str. 35, 85354 Freising
E-Mail: peter.eisner@ivv.fraunhofer.de

Dr. Stephanie Mittermaier

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
IVV, Giggenhauser Str. 35, 85354 Freising

Entwicklung pflanzlicher Lebensmittel mit hoher Verbraucherakzeptanz am Beispiel von Proteinzutaten aus Lupinensamen

Einleitung

Aufgrund ihrer hohen ernährungsphysiologischen Qualität und ihren guten technofunktionellen Eigenschaften wird der Einsatz von Pflanzenproteinen in der Lebensmittelindustrie immer wichtiger. Lupinenmehle, -proteinkonzentrate und –isolate sind vielversprechende alternative Proteine, die bereits in einer breiten Palette von Lebensmitteln, darunter Back-, Wurst- und Teigwaren sowie Salatdressings und Speiseeis (Wäsche et al. 2001, Drakos et al. 2007, Kohajdová et al. 2011, Eisner 2014), eingesetzt wurden. Lupinenproteinisolate besitzen im Allgemeinen guten Löslichkeit, gute Emulgiereigenschaften sowie moderate Gelbildeeigenschaften im Vergleich zu Sojaproteinen (Sousa, 1993 and Wäsche et al., 2001). Allerdings ist der Einsatz dieser Zutaten aufgrund ihrer grasig-grünen und bohnigen Aromaeindrücke häufig limitiert (Bader et al. 2009). Da einige dieser unerwünschten Aromastoffe höchstwahrscheinlich aus dem Fettabbau stammen, könnte die Entölung der Lupinensaaten die sensorischen Eigenschaften verbessern und damit zu einer höheren Akzeptanz von Zutaten aus Lupinen für die menschliche Ernährung führen.

Lösungsansatz und Methodik

Da jedoch bekannt ist, dass einige organische Lösemittel, wie beispielsweise Ethanol die Proteinstruktur verändern, sollte der Einfluss auf die Proteinausbeute, die funktionellen und sensorischen Eigenschaften der gewonnenen Isolate untersucht werden. Für zukünftige Entwicklungen ist es daher besonders wichtig, neben der Anwendung in Lebensmitteln auch den Einfluss verschiedener verfahrenstechnischer Ansätze auf die sensorischen und funktionellen Eigenschaften zu charakterisieren.
Ziel der Arbeit war daher den Einfluss der Entölung mit verschiedenen organischen Lösemitteln (n-Hexan, Iso-Hexan, Isopropanol, Ethanol) sowie mit überkritischem CO_2 (285 bar, 50 °C und 800 bar, 50 °C) auf die verschiedenen Proteineigenschaften und die Sensorik zu prüfen. Hierbei sollten neben der Proteinausbeute während des Isolierungsprozesses vor allem die technofunktionellen Eigenschaften (Proteinlöslichkeit und Emulgierkapazität) sowie die Sensorik der Lupinenproteinisolate verglichen. Für die Entölung mit verschiedenen Lösemitteln wurden die Lupinensamen (*L. angustifolius* cv. Boregine) geschält und die Kerne flockiert. Die entölten Flocken wurden anschließend als Ausgangsmaterial für die Proteingewinnung eingesetzt, die im Wässrigen bei pH 7.2 stattfand. Die Eigenschaften der Isolate und die Proteinausbeuten wurden mit denen des vollfetten Proteinisolats verglichen (Bader et al. 2011).

Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Proteinausbeuten, sowie die Proteingehalte und die technofunktionellen Eigenschaften der Isolate. Signifikante Unterschiede zeigten sich vor allem bei der Proteinausbeute, die bei der überkritischen CO_2-Extraktion mit 48% am höchsten war. Die niedrigsten Ausbeuten wurden nach der Extraktion mit Ethanol (36%) und Isopropanol (38%) erzielt. Die Proteingehalte aller Isolate lagen über 90%, die funktionellen Eigenschaften waren ebenso bei allen Isolaten vergleichbar. Diese hervorragenden Eigenschaften bilden die Grundlage für das breite Anwendungsspektrum der Lupinenproteinisolate in Lebensmitteln.

Tabelle 1. Eigenschaften der Lupinenproteinisolate nach der Extraktion mit unterschiedlichen Lösemitteln (Oviedo 2009).

Lupinenproteinisolate	**Proteingehalt** Mass.-%	**Proteinausbeute*** Mass.-%	**Proteinlöslichkeit**** Mass.-%	**Emulgierkapazität** mL Öl/g Prod.
Unbehandelt	92,2	42,2	92,9	740
Nach Extr, mit n-Hexan	97, 3	42,7	95,6	745
Nach Extr, mit Iso-Hexan	94,8	42,5	90,5	720
Nach Extr, mit Isopropanol	96,5	37,9	93,7	725
Nach Extr, mit Ethanol	96,8	36,1	97,6	710
Nach Extr, mit überkrit, CO_2-285bar	97,9	48,4	100	720
Nach Extr, mit überkrit, CO_2-800bar	96,1	43,6	96,4	725

* Ausbeute des getrockneten Isolates in Relation zum Proteingehalt im Ausgangsmaterial
** Proteinlöslichkeit bei pH 7

Neben hohen Proteinausbeuten und exzellenten funktionellen Eigenschaften, sind die sensorischen Eigenschaften und damit die Konsumentenakzeptanz der Lupinenproteinisolate entscheidend für den Einsatz in Lebensmitteln. Die charakteristischen Aromaeindrücke wie bitter, adstringierend oder bohnig sowie der sensorische Gesamteindruck wurden in 3%iger Proteinlösung mit Hilfe eines trainierten Sensorik-Panels ermittelt. Dabei wiesen die Isolate aus den CO2-extrahierten Flocken die höchste sensorische Akzeptanz auf. Die geringste Akzeptanz hatte das Isolat aus unbehandelten Flocken. Dies bestätigt die Vermutung, dass ein Großteil der für das typische Lupinen-Aroma verantwortlichen Substanzen aus der Oxidation von Fetten bzw. aus Fettbegleitstoffen kommt.
Insgesamt konnte mit diesen Untersuchungen gezeigt werden, dass durch überkritische CO_2-Extraktion durch gleichzeitige Extraktion des Lupinenöls und einiger unerwünschter Aromastoffe der Gesamteindruck der Lupinenproteinisolate deutlich verbessert werden kann, während die sehr guten funktionellen Eigenschaften erhalten bleiben. Besonders wurden die Attribute bohnig, Karton-artig und bitter nach der überkritischen CO_2-Extraktion verringert, während bei der Entölung mit Alkoholen lediglich bohnige Noten mit entfernt wurden (Abbildung 1).

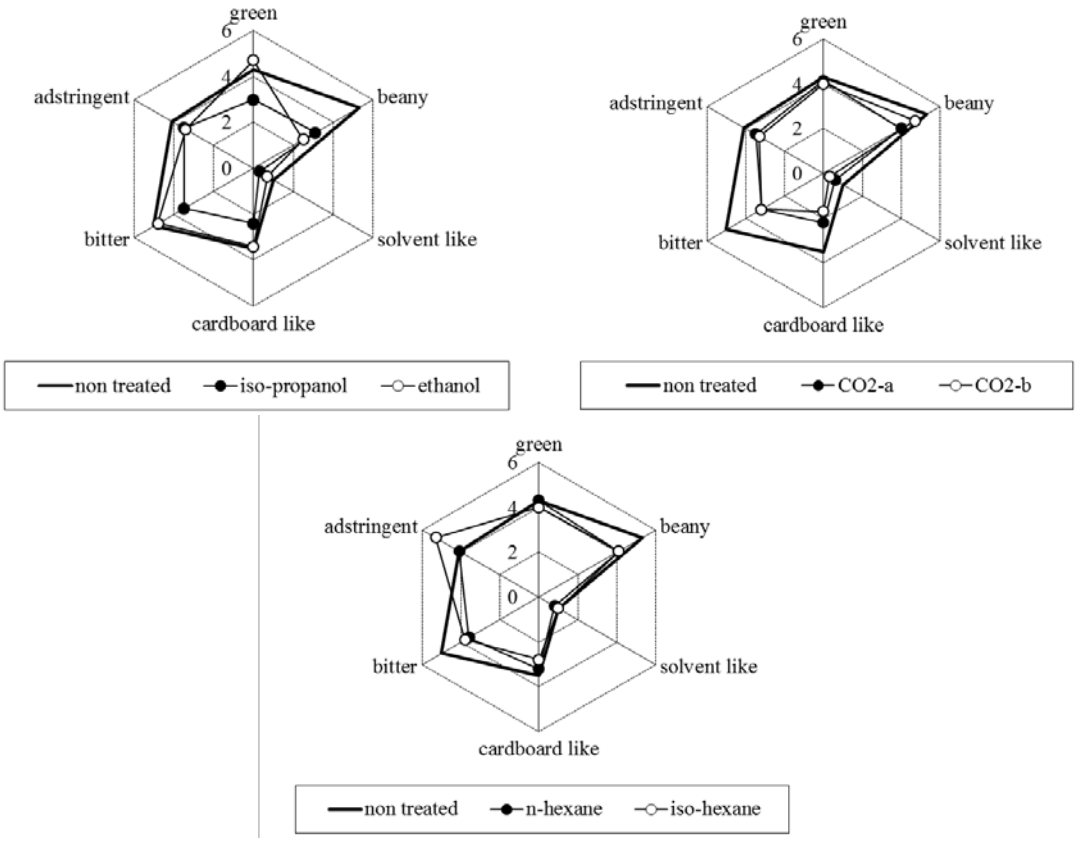


Abbildung 1: Sensorische Bewertung der wichtigsten Attribute der Lupinenproteinisolate nach Behandlung mit unterschiedlichen Lösemitteln (Eisner, 2014)

Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit den vorliegenden Untersuchungen wurde gezeigt, dass die überkritische CO2-Extraktion zur Herstellung von sensorisch verbesserten Lupinenproteinisolaten mit exzellenten funktionellen Eigenschaften bestens geeignet ist. Diese Lupinenproteinisolate legen die Grundlage für die erfolgreiche Einarbeitung von Lupinenproteinen in ein breites Spektrum an Produkten, darunter vegetarische und vegane Wurstwaren, Milchalternativen (Lupinenmilch, Joghurtalternative, Frischkäseähnliche Aufstriche) und Backwaren. Diese Entwicklungen sind für die Lebensmittelindustrie von herausragender Bedeutung und ermöglichen die Entwicklung von innovativen, wohlschmeckenden Produkten für Veganer, Vegetarier und Flexitarier.

Literatur

Bader, S,, et al, (2009) Characterisation of odour-active compounds in lupin flour, J Sci Food Agr 89, 2421

Drakos, A,, et al, (2007) Functional effects of lupin proteins in comminuted meat and emulsion gels, Food Chem 100(2), 650

Eisner P, (2014) Extraktive Fraktionierung von Leguminosensamen zur Gewinnung von funktionellen Lebensmittelzutaten am Beispiel der Lupine, Habilitation thesis, TU Munich, 2014,

Kohajdová, Z, et al, (2011) Lupin Composition and Possible Use in Bakery– A Review, Czech J Food Sci 29(3), 203

Sousa, I,M,N, (1993) Functional properties of lupin proteins, PhD thesis, University of Nottingham

Wäsche, A, et al, (2001) New processing of lupin protein isolates and functional properties, Nahrung/ Food 45(6), 393

Küstermann B., Munch J.C., Hülsbergen K.-J. (2013): Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. Europ. J. Agronomy 49, 61-73.

Prof. Dr. Enno Bahrs

Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre
Universität Hohenheim
70593 Stuttgart
E-Mail: bahrs@uni-hohenheim.de

Umsetzung und Akzeptanz von technischem Fortschritt in der deutschen Landwirtschaft

Einleitung

Die Menschheit im Allgemeinen und die Landwirtschaft im Speziellen werden bereits seit Jahrtausenden durch technischen Fortschritt begleitet, der sich gemäß Schumpeter (1993) durch die Suche und Entdeckung sowie Einführung neuer Produkte, neuer Produktionsverfahren, neuer Versorgungsquellen und organisatorischer Erneuerungen auszeichnet. Dabei kann zwischen mechanisch-technischen, biologisch-technischen sowie organisatorisch-technischen Fortschritt differenziert werden. Er ist in diesen Facetten auch in der Landwirtschaft vertreten. Der Landwirt selbst nimmt dabei insbesondere die Rolle des Impulsgebers sowie Nutzers und weniger des Entwicklers von technischem Fortschritt ein. Insbesondere der vorgelagerte Bereich der Landwirtschaft zeichnet sich durch ein hohes Maß an Forschungsaktivitäten aus, die z. B. über Patentanmeldungen, Forschungsausgaben, Anzahl neuer Produkte oder Ähnlichem zumindest indirekt bewertbar sind (Bokelmann et al., 2012). Dieses Zusammenspiel hat u. a. die deutsche Landwirtschaft dazu befähigt, mittlerweile annähernd 150 Menschen je Landwirt ernähren zu können, während es vor knapp 100 Jahren kaum mehr als 5 waren (BMEL). Damit wird sogleich die Bedeutung und Funktion von technischem Fortschritt im Allgemeinen sowie in der Landwirtschaft im Speziellen deutlich. Globale Herausforderungen wie Ernährungssicherung, Klimawandel, Ressourcenschonung oder demografischer Wandel sind mit technischem Fortschritt angemessener zu begegnen. Neben Infrastrukturmaßnahmen, politischer und rechtlicher Stabilität, Zugang zu internationalen Märkten, Ausbildungsniveaus, effizienter Nutzung knapper Ressourcen sowie Kapitalbildung ist der technische Fortschritt eine wesentliche Basis für Wohlfahrtssteigerungen oder zumindest Wohlfahrtserhaltung (Rose, 1991). Er ermöglicht einen geringeren Einsatz von Ressourcen bei gleichem Output bzw. bei gleichem Input mehr Output, ggf. mit Qualitätsverbesserungen oder auch Autonomie- oder Flexibilitätsgewinne. Vor diesem Hintergrund könnte technischer Fortschritt eigentlich eine uneingeschränkte Akzeptanz in der Gesellschaft sowie in der Landwirtschaft erfahren.

Akzeptanz von technischem Fortschritt in der Landwirtschaft

Dennoch gibt es auch viele kritische Stimmen zum technischen Fortschritt, die ihren Ursprung in der Art der Technik sowie der Art der Persönlichkeit finden (von Alvensleben/Steffens, 1990 oder Haunberger, 2013). Inakzeptanz oder sogar Intoleranz gegenüber technischem Fortschritt resultiert u. a. aus einem befürchteten Wegfall der eigenen oder auch fremden Arbeitsplätze (z. B. durch zunehmende Automatisierung), der Zunahmen negativer Externalitäten (z. B. durch GMO oder Pflanzenschutzmittel), durch befürchtete negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (z. B. durch Nanotechnologien, Strahlungen), aus negativen Auswirkungen auf nachfolgende Generationen, aus zunehmender Abhängigkeit von der Technik, aus unzureichender Gewährleistung der Rekrutierung geeigneter Fachkräfte bei zunehmend komplexen Arbeitsvorgängen sowie aus der Befürchtung eines forcierten Strukturwandels mit vorwiegend großen Betriebsstrukturen. Die Kritikpunkte sind somit zahlreich und divers. Besonders kompliziert kann sich Akzeptanz von technischem Fortschritt im Kontext der natürlichen Schutzgüter Boden, Wasser, Luft, Artenvielfalt und Nutztieren zeigen, von denen die Arbeit in der Landwirtschaft überdurchschnittlich geprägt ist. Diese Schutzgüter zeichnen sich u. a. durch ihre Öffentlichkeit, ihrer schwierigen Marktfähigkeit sowie ihrer Wahrnehmung durch die Gesellschaft aus. Letzteres zeigt die folgende Übersicht 1.

Übersicht 1: Akzeptanz von technischem Fortschritt im Kontext von Natur- und Schutzgütern in Abhängigkeit von der Betrachtungsperspektive

Schutzgüter	Anthroprozentrisch	Physio- oder Biozentrisch
Boden, Wasser Luft, Artenvielfalt, Nutztiere	Kosten, Margen	Grenzwerte, Ökosystemerhalt, tiergerechte Haltung

Quelle: Gemäß Heißenhuber/Pahl, 1990

Schutzgüter können anthroprozentrisch wahrgenommen werden, mit der Konsequenz, dass die Nutzer der Schutzgüter eine betriebswirtschaftliche Interpretation stärker akzentuieren. Dagegen führt eine physio- oder biozentrische Interpretation zu einem stärkeren Ausgleich von Mensch und Natur und damit wahrscheinlich auch zu geringeren negativen Externalitäten. Bei diesen Betrachtungen wird sogleich deutlich, dass sich die Kommunikations- und Diskussionsebene erschwert und eine erhebliche Konflikttiefe zwischen den betroffenen Akteuren von technischem Fortschritt induzieren kann.

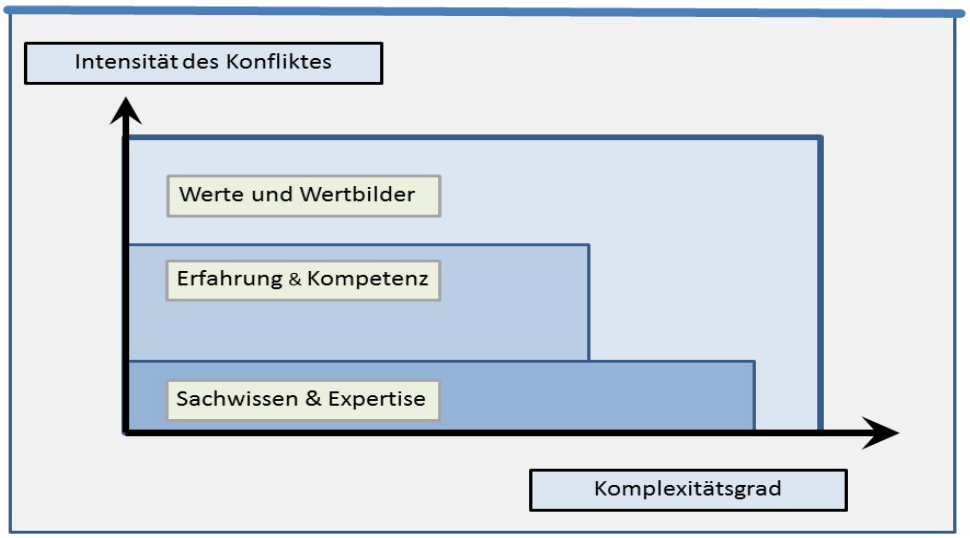


Abb. 1: Die drei Konfliktebenen in Technikdebatten; Renn, 2007

Sobald Schutzgüter bei technischem Fortschritt involviert sind, steigt die Wahrscheinlichkeit einer Werte- und Weltbilderdiskussion mit hohem Konfliktpotenzial. Davon ist die Landwirtschaft stark betroffen, wie die Diskussionen um z. B. tiergerechte Haltungsformen, genetisch modifizierten Pflanzen, Totalherbiziden oder allgemeiner Naturschutzziele zeigen.

Akzeptanz von technischem Fortschritt von Landwirten

In der zuvor beschriebenen Gemengelage müssen Landwirte die Entscheidung treffen, ob und welche Art von technischem Fortschritt im eigenen Betrieb implementiert werden soll (Bahrs, 2010). Die folgende Übersicht 2 versucht verschiedene Motivationen der Nutzung von technischem Fortschritt in der Landwirtschaft aufzugreifen und deren Umsetzungswahrscheinlichkeit zu beschreiben.

Übersicht 2: Voraussetzungen des Einsatzes von technischem Fortschritt in der Landwirtschaft

Technischer Fortschritt und…	**TF wird von Landwirten umgesetzt, wenn…**
Betriebswirtschaft	Es sich „rechnet“ (Allgemeinformel)
Mitarbeitermotivation	(Junge) Mitarbeiter begeistert werden können
Subventionen	Mehrverdienst bzw. Mehrnutzen möglich ist
Ausbildung/Verständnis	Die Innovation verstanden wird
Komfort/Flexibilität	Erhöhung/Verbesserung erreicht werden kann
Liquidität	Hohe Liquidität vorhanden bzw. erzielbar ist
Spaß	Wenn seine Anwendung Freude bereitet
Betriebsgröße/Strukturwandel	Betriebe größer sind (vielfach Fixkostendegression von TF)

Negative externe Effekte	Es sich „rechnet“ oder bei Altruismus
Wertschöpfungskette	Wünsche und Normen aller Akteure berücksichtigt werden
Anerkennung	Einsatz als positive Pioniertätigkeit/Courage verstanden wird
Gesellschaft	Potenzieller gesellschaftlicher Gegendruck nicht zu hoch ist
Politik/Recht	Er erlaubt ist und gefördert wird.
Visibilität	Multiplikatoren vorhanden sind wie Lehr- und Versuchsanstalten, Leitbetriebe, effiziente Beratungsstrukturen

Deutschland weist mit all seinen Rahmenbedingungen sehr gute Voraussetzungen für die Implementierung von technischem Fortschritt auf. Renn (2007) erwähnt sogar eine allgemeine Technikaffinität der Deutschen, jedoch mit Einschränkungen in Bereichen wie z. B. genetisch modifizierter Pflanzen. Die Voraussetzungen des Einsatzes von TF und seiner Akzeptanz in anderen Ländern oder Kontinenten sind dagegen vielfach erheblich schlechter. Fehlende Ausbildung, mangelnde Kapitalausstattungen sowie Finanzierungen, unangemessene politische und damit auch rechtliche Rahmenbedingungen erschweren den Einsatz von produktivitätserhöhendem bzw. wohlfahrtssteigerndem technischen Fortschritt erheblich.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Landwirte verspüren vereinzelt eine sehr kritische Begleitung ihrer Tätigkeit und damit auch des Einsatzes von technischem Fortschritt durch die Gesamtgesellschaft. Damit könnte der Einsatz von technischem Fortschritt zu stark behindert werden. Allerdings ist gegenwärtig nicht erkennbar, dass die deutsche Landwirtschaft in ein technologisches Hintertreffen geraten ist. Im Gegenteil, die deutsche Landwirtschaft zeigt sich in vielen Segmenten international wettbewerbsfähig (vTI). Die kritische gesamtgesellschaftliche Begleitung hat der Landwirtschaft in der Vergangenheit offenbar mehr genutzt als geschadet. Allerdings gilt auch für die Zukunft, eine Politik des technischen Fortschritts zu entwickeln, die u. a. durch Impulse aus Landwirtschaft und Hochschulen angetrieben werden und auch in den Unternehmen des vor- und nachgelagerten Bereichs aufgegriffen werden. Bei der zunehmenden Spezialisierung in den Wertschöpfungsketten des Agribusiness mit gleichzeitig stark ausgeprägter vertikaler und horizontaler Integration wird auch die Notwendigkeit zunehmender Inter- und Transdisziplinarität deutlich. Letzteres kann auch hilfreich sein, Innovationen in der Landwirtschaft im Sinne eines gesamtgesellschaftlichen Nutzens besser zu kommunizieren.

Literatur

BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft): Statistische Jahrbücher LuF, verschiedene Jahrgänge.

Bahrs, E.: Motive der Automatisierung und des Robotereinsatzes in der Landwirtschaft. In: KTBL e.V. (Hg.): Automatisierung und Roboter in der Landwirtschaft. Darmstadt 2010.

Bokelmann, W., Doernberg, A., Schwerdtner, W., Kuntosch, A., Busse, M., König, B., Siebert,, R., Koschatzky, K., Stahlecker, T.: Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft. Berlin 2012

Haunberger, S.: Agrartechnik zwischen Autonomiegewinn und Anpassungszwang. In Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, 2/2013, S. 63-66

Heißenhuber, A. und H. Pahl: Technischer Fortschritt im Widerstreit zwischen ökonomischen, ökologischen und ethischen Zielen. – aus der Sicht der Mikroökonomen. In: Schriften zur Gewisola, 1990, S.241-249.

Renn, O.: Wie aufgeschlossen sind die Deutschen gegenüber der Technik? In: Themenheft Forschung 4/2007, Stuttgart

Rose, T.: Grundlagen der Wachstumstheorie. Göttingen, 1991

Schumpeter, J. A.: Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. 7. Auflage. Berlin 1993

vTI (Thünen Institut): Agribenchmark, verschiedene Produktlinien, verschiedene Jahrgänge.

Abstracts Poster

Reduktion des antinutritiven Potentials von Futtermitteln für monogastrische Nutztiere als Maßnahme der innovativen Biomasseerzeugung

Daniel Brugger[1], Wilhelm M. Windisch[1]
[1]Lehrstuhl für Tierernährung, Wissenschaftszentrum für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München

Einleitung

Pflanzliche Biomasse enthält Stoffgruppen die einen negativen Einfluss auf die Verwertung im Magen-Darm-Trakt monogastrischer Nutztiere haben. Solche „antinutritiven“ Inhaltsstoffe (ANF) sind besonders stark in Körnern und Samen vertreten, die eine Hauptgrundlage praktischer Rationen für Schweine und Geflügel sind. Aus diesem Grund werden verschiedene züchterische und technische Maßnahmen angewandt um die bestehende pflanzliche Futtergrundlage derart zu modifizieren, dass solche negativen Effekte deutlich verringert werden und ein Einsatz in der Fütterung möglich wird. Dennoch verbleibt ein nicht zu unterschätzendes antinutritives Restpotential (ANP) in den Trögen. Nachfolgend werden Maßnahmen erörtert das ANP in den Nutztierrationen abzusenken.

Innovative Maßnahmen zur Verbesserung der Futterverwertung

Um das ANP der bestehenden Futtergrundlage zu reduzieren kann entlang der gesamten Wertschöpfungskette, beginnend bei der Pflanzenzucht, über die Futtermittelproduktion auf dem Feld, der Aufbereitung der Futtermittel bis hin zur Rationsgestaltung, eingegriffen werden.

Eigene, aktuelle Daten (Brugger et al. 2015a) legen nahe, dass spezifische Einflussfaktoren auf dem Feld mit der Menge bzw. Aktivität bestimmter ANF korrelieren. Daraus folgt, dass bei genauer Kenntnis der zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten unter Umständen die Möglichkeit besteht bereits im Rahmen der Produktion auf dem Feld in die Synthese von ANF einzugreifen. Daher müssen weiterführende Untersuchungen die Beziehung zwischen Umwelteffekten auf dem Feld und der Synthese von ANF in der Pflanze näher beleuchten.

Zur guten fachlichen Praxis bei der Verfütterung von Leguminosen, insbesondere von Sojaprodukten, gehört eine Hitzebehandlung der entsprechenden Futtermittel. Dadurch wird eine ganze Reihe von ANF zerstört, die gerade in dieser Pflanzenspezies stark vertreten sind. Hierzu zählen die bereits erwähnten Trypsininhibitoren aber auch Phasine, die zur Wirkstoffklasse der Phytohemaglutinine zählen (Lallés und Jansman 1998). Jedoch besteht hier ein Zielkonflikt, denn durch die Hitzebehandlung können unter Umständen neue ANF entstehen. Dabei handelt es sich in erster Linie um glykosilierte Aminosäuren (AS) als Produkte sogenannter „Maillard-Reaktionen“. Derart modifizierte AS stehen dem Organismus nicht mehr als Strukturelemente der Proteinsynthese zu Verfügung, wodurch sich die Eiweißverwertung im Tier deutlich reduziert (González-Vega et al.

2011). Um die notwendige Intensität der Hitzebehandlung zur Reduktion von ANF so weit wie möglich zu reduzieren sind verschiedene Maßnahmen denkbar. Auf der einen Seite kann, durch züchterische Intervention, das genetische Potential zu Synthese von ANF im pflanzlichen Organismus weiter reduziert werden. Hierdurch würde sich die notwendige Intensität der Hitzebehandlung unter Umständen verringern, wodurch auch die Gefahr von Maillard-Reaktionen abnimmt.
Ein völlig neuer Ansatz könnte im Einsatz von Enzymzusätzen in der Fütterung liegen. Eigene, kürzlich publizierte Daten (Brugger et al. 2015b) zeigen, dass es möglich ist Trypsininhibitoren *in vitro* durch eine Trypsinzulage abzusättigen. Diesen Effekt kennt man bereits aus Studien zur Wirkung von Trypsininhibitoren *in vivo*. Der Organismus erhöht bei Anwesenheit solcher ANF im Verdauungstrakt die pankreatische Sekretion von Verdauungsenzymen, unter anderem von Trypsin. Der dadurch anflutende Tryspinüberschuss führt zu einer Sättigung der vorhandenen Trypsininhibitoren, wodurch wieder genug katalytische Aktivität zur Verdauungsleistung bereit steht (Lallés und Jansman 1998). Weiterführende Studien müssen zeigen ob diese in vitro Effekte im Tier reproduzierbar sind. Insbesondere muss untersucht werden inwieweit eine solche fütterungstechnische Intervention das Potential hat, die notwendige Hitzebehandlung zur Reduktion der TIA zu minimieren oder eventuell sogar ganz zu ersetzen.

Ein weiterer interessanter Ansatz zur Verbesserung der Futterverwertung liegt im vorherigen Ankeimen von Körnern und Samen. Bestimmte ANF repräsentieren molekulare Speichermedien für Mineralstoffe und Energie, die der Samen benötigt um das Pflanzenwachstum einzuleiten. Im Rahmen der Keimung kommt es zum Aufbrechen dieser molekularen Strukturen, wodurch die darin gebundenen Nährstoffe und -elemente verfügbar werden. Studien an Getreidearten legen nahe, dass es beispielsweise zur signifikanten Verringerung von Phytaten und löslichen Nicht-Stärke-Polysacchariden kommt (z.B. Flamme et al. 2003). Gleichzeitig steigt die Löslichkeit von Aminosäuren, Kohlenhydraten und Mineralstoffen *in vitro* (Mbithi-Mwikya et al. 2000, Badau et al. 2005). Allerdings steht eine Bestätigung dieser Befunde im Tiermodell derzeit noch aus. Zudem müssen präzise Nährstoffbilanzen über den Keimungsverlauf erhoben werden, denn die beschriebenen stofflichen Veränderungen sind von einem kontinuierlichen Bruttoenergieverlust begleitet. Es besteht also ein Zielkonflikt zwischen einer Erhöhung der Futterwertung und einer Abnahme des Gesamtgehaltes an verwertbaren Nährstoffen. Daher muss in präzise kontrollierten Experimenten, der Grenznutzen dieses Verfahrens *in vitro* und *in vivo* abgeleitet werden.

Schlussfolgerung und Ausblick

Trotz sämtlicher Maßnahmen der guten fachlichen Praxis in der Futtermittelproduktion, enthalten die Rationen monogastrischer Nutztiere ein messbares ANP. Die Nachhaltigkeit der Tierproduktion wird nicht zuletzt durch die Effizienz der Futterverwertung bestimmt. Daher muss die Forschung im Bereich Tierernährung in Zukunft verstärkt auf die Reduktion des ANP ausgerichtet werden, um die Futterverwertung in der Geflügel- und Schweinehaltung zur verbessern.

Literatur

Badau MH, Nkama I, Jideani IA. 2005. Phytic acid content and hydrochloric acid extractability of minerals in pearl millet as affected by germination time and cultivar. Food Chem. 92:425-435.

Brugger D., Mayer K., Eberdorfer D., Windisch M.W., Bolduan C. 2015a. Varying environmental conditions affect the trypsin inhibitor activity of maize kernels in the course of maize cultivation. Manuskript in Vorbereitung.

Brugger D, Loibl P, Schedle K, Windisch WM, Fahn C. 2015b. In-silico and in-vitro evaluation of the potential of maize kernels to inhibit trypsin activity. Anim. Feed Sci. Technol. 207:289-294.

Flamme W, Kurpjun CH, Seddig S, Jansen G, Jürgens H-U. 2003. Gekeimte Samen als Futtermittel - Analytik. Bundesprogramm Ökologischer Landbau, FKZ: 02OE662.

González-Vega JC, Kim BG, Htoo JK, Lemme A, Stein HH. 2011. Amino acid digestibility in heated soybean meal fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 89:3617 - 3625.

Lallés JP, Jansman AJM. 1998. Recent progress in the understanding of the mode of action and effects of antinutritional facctors from legume seeds in non-ruminant farm animals. In: Jansman AJM, Hill GM, HuismanJ, van der Poel AFB, editor(s). Recent advances of research in antinutritional factors in legume sees and rapeseeds. Wageningen (The Netherlands): Wageningen Pers. 219-232.

Mbithi-Mwikya S, Van Camp J, Yiru Y, Huyghebaert A. 2000. Nutrient and antinutrient changes in finger millet (Eleusine coracan) during sprouting. Lebensm.-Wiss. u.- Technol. 33:9-14.

Autorenanschrift

Daniel Brugger, M.Sc.
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising - Weihenstephan
Daniel.Brugger@wzw.tum.de

Effizientere Nutzung der Futterbiomasse in der Wiederkäuerfütterung durch den Einsatz exogener Enzyme?

Mirko Deml[1], Carmen Bolduan[1], Wilhelm Windisch[1]
[1] Lehrstuhl für Tierernährung, TU München

Einleitung

Wiederkäuer sind aufgrund ihres Vormagensystems in der Lage, für den Menschen nicht-essbare Biomasse in essbare zu transformieren. Die Fermentation im Pansen wird jedoch durch die chemischen Eigenschaften des Futters beschränkt. Ein Ansatzpunkt, um negative chemische Eigenschaften des Futters zu beseitigen ist der Einsatz exogener Enzyme. Das Ziel hierbei ist, die Futterbiomasse in ihrer Qualität aufzuwerten. Ein besonderes Interesse gilt in diesem Zusammenhang dem Wiederkäuer. Die Eigenschaft, Faser zu verwerten, ist der große Vorteil gegenüber nicht-Wiederkäuern. Eine Steigerung dieser Faserverwertung wäre in Zeiten der Nahrungsmittelkonkurrenz als besonders positiv einzustufen.

In der Vergangenheit lag ein Hauptaugenmerk auf Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) spaltenden Enzymen (Cellulasen, Xylanasen), um die Faserverdaulichkeit zu verbessern. Allerdings ließen sich die gewünschten Effekte nur in wenigen Studien beobachten. Eine Reihe jüngerer Untersuchungen zeigt, dass auch der Einsatz einer exogenen Amylase zu einer gesteigerten Faserverwertung beitragen kann. In diesem Zusammenhang wurde von erhöhter Trockenmasse- (Gencoglu et al., 2010; McCarthy et al., 2013) und NDF-Verdaulichkeit (Tricarico et al., 2008; Klingerman et al., 2009; DiLorenzo et al., 2011; Weiss et al., 2011; McCarthy et al., 2013) bei Milchkühen berichtet, sowie einer daraus resultierenden erhöhten Milchleistung (DeFrain et al., 2005; Klingerman et al., 2009). Der Wirkmechanismus bezüglich der gesteigerten NDF-Verdaulichkeit durch den Einsatz einer Amylase ist jedoch noch nicht genau bekannt. Aus diesem Grund wurde ein Versuch mit einer Amylase und einer Protease an pansenfistulierten Tieren durchgeführt und überprüft, wie einzelne Futtermittel und Nährstoffe unter den verschiedenen Behandlungen im Pansen abgebaut werden.

Material und Methoden

Der Versuch wurde an acht trockenstehenden, pansenfistulierten Holstein Kühen durchgeführt. Alle Tiere wurden folgenden Behandlungen unterzogen: Kontrolle (Kon): keine Enzymzulage; Zulage von Amylase (Amy): 300 Amylase-Units (AU)/kg Trockenmasse (T); Zulage von Protease (Prot): 15000 Protease-Units (PU)/kg T; Kombination der beiden Enzympräparate (Amy+Prot): 150 AU + 7500 PU/kg T. Die Versuchstiere wurden als Lateinisches Quadrat (2×4×4) in vier Durchgängen eingesetzt. Die tägliche Futteraufnahme lag bei 7,0 kg T. Die Ration bestand aus 49 % Maissilage, 20 % Körnermais, 15 % Grassilage, 6 % Sojaextraktionsschrot und 10 % Heu. Die Bestimmung der ruminalen Abbaubarkeit erfolgte anhand der *in situ*-Technik (Ørskov und McDonald, 1979). Dazu wurden Futterproben (4 g T) in Nylon-Beutel eingewogen und unmittelbar vor der Morgenfütterung für 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9,

12, 24 und 48 Stunden im Pansen inkubiert. Anschließend wurden die Beutel gewaschen, getrocknet und zurückgewogen, um die Trockensubstanzverluste zu bestimmen. Des Weiteren wurden Pansensaftproben von den Tieren gewonnen. Die Proben dienten zur Ermittlung des pH-Wertes, des Ammoniak-Stickstoffs und der flüchtigen Fettsäuren. Die Ergebnisse wurden einer Varianzanalyse mit anschließendem Duncan-Test unterzogen ($p<0,05$).

Ergebnisse und Diskussion

In dem Versuch konnte gezeigt werden, dass die Zulage einer Kombination der beiden Enzympräparate zu einem gesteigerten Trockenmasseabbau bei Maissilage und Körnermais führte (Deml et al., 2015). Der Trockenmasseabbau der übrigen eingesetzten Futtermittel wurde durch die Amylase-Protease-Behandlung nicht beeinflusst. Die reine Amylase-Behandlung hatte keinen Effekt. Die beobachteten Effekte bei der Maissilage und dem Körnermais könnten auf einen gesteigerten Stärkeabbau im Pansen durch die Kombination von Amylase und Protease hinweisen, da gerade bei Mais der Zugang der Stärke durch eine Matrix aus Proteinen und NSP erschwert sein kann (Larson und Hoffman, 2008). Dieser gesteigerte Stärkeabbau könnte ein Grund für die bei anderen Untersuchungen beobachtete gesteigerte NDF-Verdaulichkeit durch eine Amylase Zulage sein. Als Erklärung wird der sog. „cross-feeding“-Mechanismus genannt (Tricarico et al., 2008). Dabei geht man davon aus, dass durch die Amylase im Pansen Oligosaccharide entstehen, welche als Substrat von Mikroorganismen genutzt werden, die selbst über keine Amylase-Aktivität verfügen, für den Faserabbau aber wichtig sind.

Schlussfolgerung

Das Verdauungssystem des Wiederkäuers, allem voran der Pansen, ist ein hochkomplexes System. Das Mikrobiom im Pansen durch Futterzusatzstoffe zu beeinflussen ist nicht leicht. Verschiebungen zugunsten bestimmter Mikroorganismen sind jedoch denkbar. Dazu müsste die grundlegende Eigenschaft des Pansens, der „cross-feeding“-Mechanismus, genutzt werden um erwünschte Gruppen von Mikroorganismen zu fördern. Exogene Enzyme könnten dies bei bestimmten Futtermitteln erreichen und somit zu einer effizienteren Nutzung der Futterbiomasse beitragen.

Literatur

DeFRAIN J M, HIPPEN A R, KALSCHEUR K F, TRICARICO J M, 2005. Effects of dietary α-amylase on metabolism and performance of transition dairy cows. J. Dairy Sci. 88, 4405-4413.

DEML M, FAHN C, WINDISCH W (2015): Effects of amylase and protease supplementation on rumen dry matter degradation characteristics in non-lactating Holstein cows feeding a maize-based diet. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 24, 89.

DiLORENZO N, SMITH D R, QUINN M J, MAY M L, PONCE C H, STEINBERG W, ENGSTROM M A, GALYEAN M L, 2011. Effects of grain processing and supplementation with exogenous amylase on nutrient digestibility in feedlot diets. Livest. Sci. 137, 178-184.

GENCOGLU H, SHAVER R D, STEINBERG W, ENSINK J, FERRARETTO L F, BERTICS S J, LOPES J C, AKINS M S, 2010. Effect of feeding a reduced-starch diet with or without amylase addition on lactation performance in dairy cows. J. Dairy Sci. 93, 723-732.

KLINGERMAN C M, HU W, McDONELL E E, DerBEDROSIAN M C, KUNG Jr. L, 2009. An evaluation of exogenous enzymes with amylolytic activity for dairy cows. J. Dairy Sci. 92, 1050-1059.

LARSON J, HOFFMAN P C, 2008. *Technical note*: A method to quantify prolamin proteins in corn that are negatively related to starch digestibility in ruminants. J. Dairy Sci. 91, 4834-4839.

McCARTHY M M, ENGSTROM M A, AZEM E, GRESSLEY T F, 2013. The effect of an exogenous amylase on performance and total-tract digestibility in lactating dairy cows fed a high-byproduct diet. J. Dairy Sci. 96, 3075-3048.

ØRSKOV E R, McDONALD I, 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci., Camb. 92, 499-503.

TRICARICO J M, JOHNSTON J D, DAWSON K A, 2008. Dietary supplementation of ruminant diets with an *Aspergillus oryzae* α-amylase. Anim. Feed Sci. Technol. 145, 136-150.

WEISS W P, STEINBERG W, ENGSTROM M A, 2011. Milk production and nutrient digestibility by dairy cows when fed exogenous amylase with coarsely ground dry corn. J. Dairy Sci. 94, 2492-2499.

Autorenanschrift

Mirko Deml
Lehrstuhl für Tierernährung
Liesel-Beckmann-Straße 2
85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: mirko.deml@wzw.tum.de

Leistungspotenzial von Körnermaisstroh für die Biogasproduktion

Monika Fleschhut, Dr. Joachim Eder
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Einleitung

Jährlich fallen in Deutschland etwa 4,5 Mio. t Maisstroh an, die bislang ungenutzt auf dem Feld verbleiben. Damit ist der Reststoff Maisstroh ein überaus interessantes Substrat für die Biogasproduktion, mit welchem die Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion entschärft werden kann. Seine Eignung als Biogassubstrat ist jedoch weitgehend unbekannt. Daher sind grundlegende Fragen zum Leistungspotenzial von Körnermaisstroh zu klären. Im Vordergrund steht zunächst die Bewertung von Ertragsparametern und der spezifischen Methanausbeute.

Material und Methoden

Um den Einfluss von Genotyp und Abreifegrad auf Ertrag und spezifische Methanausbeute untersuchen zu können, wurde am Standort Freising ein Feldversuch mit vier Sorten und drei zeitlich versetzten Ernteterminen (13.10.2014; 27.10.2014; 4.11.2014) in dreifacher Wiederholung angelegt. Bei der Ernte wurden die Kolben von Hand ausgebrochen, in Korn und Spindel separiert und die Restpflanze mit dem Parzellenhäcksler geerntet. Durch Mischen der Restpflanze und der gehäckselten Spindeln konnte anschließend das Maisstroh (= Restpflanze ohne Körner) gewonnen und für nachfolgende Untersuchungen genutzt werden. Die spezifischen Methanausbeuten wurden in Batchversuchen gemäß der Richtlinie VDI 4630 (2006) ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Bei einem durchschnittlichen Kornertrag von 133 dt TM ha^{-1} (Mittel über alle Sorten und Erntetermine) lag der Strohertrag bei 115 dt TM ha^{-1} und schwankte in Abhängigkeit von der Sorte und dem Erntezeitpunkt zwischen 106 und 122 dt TM ha^{-1}. Dabei konnte ein signifikanter Ertragsabfall hin zum dritten Erntetermin (4.11.2014) beobachtet werden, während die Sortenunterschiede nur gering waren. Die Trockensubstanz (TS)-Gehalte des Maisstrohs nahmen im Verlauf der Abreife signifikant von 26 % auf 35 % (Mittel über alle Sorten) zu und lagen damit auch bei später Ernte noch im Zeitfenster der optimalen Siloreife.
Bei den Untersuchungen zur spezifischen Methanausbeute wurden durchschnittlich 318 Nl CH_4 (kg oTM)$^{-1}$ erzielt, während die Methanausbeuten der Gesamtpflanze zur Siloreife unter denselben Bedingungen (gleiche Sorten und gleicher Standort) im Mittel bei 357 Nl CH_4 (kg oTM)$^{-1}$ lagen. Die errechneten Methanhektarerträge lagen im Mittel bei 3500 Nm^3 CH_4 ha^{-1} und sanken im Verlauf der drei Erntetermine signifikant von 3760 auf 3180 Nm^3 CH_4 ha^{-1} (Abb. 1). Bezüglich der Sortenwahl ergaben sich lediglich für eine Sorte signifikant geringere Methanhektarerträge im

Vergleich zu den übrigen Sorten. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Ergebnisse des Exaktversuches als maximales Potenzial unter Idealbedingungen zu verstehen sind, während unter Praxisbedingungen weitere Restriktionen (insbesondere technische Restriktionen bei der Strohbergung) zum Tragen kommen.

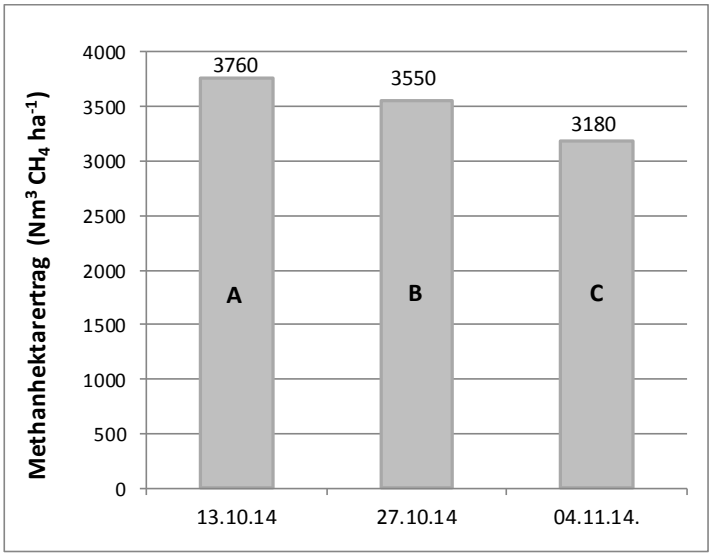


Abbildung 1: Methanhektarerträge (Nm^3 CH_4 ha^{-1}) von Körnermaisstroh in Abhängigkeit des Erntetermins; Mittel über alle Sorten, n = 12; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (LSD, $\alpha = 0{,}05$)

Literatur

VDI 4630 (2006): VDI Richtlinie 4630: Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stofferhebung, Gärversuche.. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf

Autorenanschrift

Monika Fleschhut
Am Gereuth 4
85354 Freising
Email: Monika.Fleschhut@LfL.bayern.de

Optimierter Gärresteinsatz in Energiepflanzenfruchtfolgen

Jonas Haag[1], Dr. Maendy Fritz[1]
[1]Sachgebiet Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) Straubing

Einleitung

Pflanzen benötigen für die Bildung von Biomasse verschiedene Haupt- und Spurennährstoffe, die über Wurzeln und Blätter aufgenommen werden. Bei der Ernte werden diese Nährstoffe mit der Biomasse vom Acker abgefahren und müssen dem System wieder zugeführt werden. Eine Möglichkeit für die Rückführung vieler Nährstoffe bietet die Gärrestdüngung. Im Rahmen des vom BMEL über die FNR geförderten Verbundvorhabens EVA wird der Einsatz von Gärresten in zwei Versuchen bundesweit an sechs Standorten in Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Thüringen, Baden-Württemberg und Bayern untersucht. Hier wird der Versuch „Kleiner Gärrest“ betrachtet.

Material & Methoden

Es werden drei Düngeregime verglichen: reine Gärrestdüngung (100 % Gärrest-N), eine gemischte Düngevariante (50 % mineralisches und 50 % Gärrest-N) und mineralische Düngung (100 % mineralisches N). Die in der Fruchtfolge angebauten Kulturen werden in Tabelle 1 aufgeführt. Die Kulturen werden zur Ganzpflanzensilage (GPS) mit Verwertungsziel Biogasproduktion geerntet, abschließend wird Winterweizen als Marktfrucht angebaut. Der Versuch besteht aus vier Anlagen. Anlage I und II sind bereits abgeschlossen.

Tabelle 1: Fruchtfolgeglieder des Versuchs

1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
Mais	Winterroggen, Sorghum	Wintertriticale, Einj. Weidelgras	Winterweizen (Kornnutzung)

Die verwendeten Gärreste stammen von standortnahen Biogasanlagen aus der Fermentation von nachwachsenden Rohstoffen oder aus der Kofermentation mit Rindergülle. Im Versuch wird der Stickstoffgehalt als Bezug für die Düngemengenberechnung verwendet. Es wird eine im Düngejahr pflanzenverfügbare Stickstoffmenge von 70 % des N_{ges} angenommen und die entsprechende Ausbringmenge berechnet. Die mineralische Düngung wird wie in der Praxis üblich als Saldo aus dem N-Sollwert unter Abzug des N_{min}-Vorrats im Boden berechnet. Die Ausbringung erfolgt per Schleppschlauchtechnik mit sofortiger Einarbeitung mittels Grubber. Am Standort Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern) kommt bei Mais und Sorghum ein Injektionsverfahren zum Einsatz. Der Kleine Gärrest wird seit 2009 kontinuierlich an sechs Standorten durchgeführt.

Durch die parzellentreue Düngung in drei Varianten sind nach Abschluss der Anbauversuche Erkenntnisse zur Langzeitwirkung von Gärresten zu erwarten.

Ergebnisse & Diskussion

Der Versuch zeigt, dass alle angebauten Kulturen die ausgebrachte Gärrestdüngung gut verwerten können. Auch die gemischte Düngung wurde gut verwertet und weist Einsparpotenziale in der Energiebilanz aus. Das angesetzte Mineraldüngeräquivalent von 70 % des Gesamtstickstoffs ohne Anrechnung von Verlusten erweist sich für die Düngung einer Fruchtfolge als gut geeignet. Allerdings zeigt sich die Gärrestdüngung stärker witterungsabhängig als die mineralische Düngung, bei widrigen Witterungsbedingungen besteht eine größere Wahrscheinlichkeit von Emissionen und Auswaschungen. Bei Betrachtung der gemittelten Trockenmasseerträge aller beteiligten Standorte über die bisherige Laufzeit liegt die gemischt gedüngte Variante mit 94 % geringfügig unter dem Ertragsniveau der mineralischen Düngung. Die rein mit Gärresten gedüngte Variante liegt mit 92 % etwas niedriger. Die beiden Varianten mit Gärrestdüngung erreichten standort- und kulturspezifisch teilweise auch höhere Erträge als mineralische Düngung. Die Deckungsbeiträge der Varianten sind dementsprechend variabel. Die Gärrest gedüngte Variante erreichte 2014 bei der Kultur Sorghum im Durchschnitt aller Standorte einen 46 % höheren Deckungsbeitrag als die mineralische Variante. Bei der gemischten Variante war der Deckungsbeitrag 36 % höher als die mineralische Variante (Kornatz et al. 2015). In diesem Deckungsbeitrag sind die Nährstoffkosten der gedüngten Gärreste bereits enthalten. Bei vergünstigter Bereitstellung von Gärresten, wie in der Praxis üblich, erhöht sich dementsprechend der Deckungsbeitrag. Dem gegenüber zeigten sich bei den Treibhausgasemissionen, modelliert mit dem Modell MiLA des ZALF in Müncheberg (Glemnitz et al. 2014), eindeutige Unterschiede. Die mit Gärrest gedüngte Variante erzeugte 52 % und die gemischte Variante 85 % Treibhausemissionen im Vergleich zur mineralisch gedüngten Variante. Das Modell betrachtet alle direkten und indirekten Treibhausgasemissionen, die während des Anbaus der Energiepflanzen bis zum Festfahren der Silage entstehen. Die Düngerherstellung von Mineraldünger ist energetisch aufwendig und erzeugt deshalb mehr Treibhausgasemissionen. Verglichen mit der VDLUFA Humusbilanzmethode (untere Werte) ist die mineralisch gedüngte Variante humuszehrend, die gemischte Variante im optimalen Bereich und die mit Gärrest gedüngte Variante humusmehrend. Dies liegt an der vor allem an der zugeführten organischen Substanz aus den Gärresten.

Literatur

Glemnitz, M., M. Willms, R. Platen, X. Specka, C. Peter, A-K. Prescher, C. von Buttlar, B. Krähling, 2014: Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus EVA II, Endbericht, Teilprojekt 2, 284 S., Müncheberg: ZALF.

Kornatz, P.; Müller, J.; Aurbacher J. (2015): Primärdatenerfassung Teilprojekt 3 "Ökonomische Begeleitforschung" des EVA-Verbundprojektes der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FKZ:2200621 2). Datensatz LfNr.: 2 EVA_Datenbankextrakt_2015_06_10_10_27_18. Herausgegeben als Datenbankauszug im Access/MySQL Format von der Juniorpofessur für landwirtschaftliche Produktinsökonomik, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Autorenanschrift

Jonas Haag
Sachgebiet Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse
Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18 in 94315 Straubing
Tel.: 09421 300-015, Fax: 09421 300-211
E-Mail: jonas.haag@tfz.bayern.de, Internet: www.tfz.bayern.de

Analyse der Rohstoffbereitstellung für die verschiedenen Konzepte der Kaskadennutzung von Biomasse – UBA-Projekt „BIOMASSEKASKADE - Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse -von der Theorie zur Praxis“

Sonja Kay, Prof. Frank Baur
IZES gGmbH

Im Sinne des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) gilt es neben der Sicherung der Nahrungsmittelproduktion auch die Nutzung von Biomasse für stoffliche und energetische Zwecke effizient und nachhaltig auszubauen (Die Bundesregierung, 2012). Ziel ist es das Wirtschaftswachstum vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln. Vor diesem Hintergrund geht das UBA Forschungsprojekt „BIOMASSEKASKADE - Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse - von der Theorie zur Praxis“ der Frage nach, an welchen Stellen bereits genutzte oder zusätzliche Biomassestöme im Sinne potenziell effizienterer Nutzungskonzepte erschlossen werden können (IZES;2014). Hierfür können einerseits die Rohstoffbasis durch einen gesteigerten Anbau erhöht, oder alternativ bereits genutzte Biomassen durch eine effiziente Kaskadennutzung im Markt gehalten werden. Im Projekt wurden die Stoffströme Holz (Altholz/ Papier), Natur-Fasern (Textilien) und Zucker & Stärke für Biokunststoffe näher betrachtet.

Kaskadennutzung

Eine konsequente Kaskadennutzung kann zu einer Steigerung des Biomasseaufkommens beitragen. Hinter dem Begriff der Kaskadennutzung verbirgt sich die mehrfache Nutzung eines Stoffes. Bei einem effizienten Umgang mit dem

Abbildung: Stoffkreislauf einer Holzkaskadennutzung

Rohstoff z.B. Holz wird dieser im Idealfall zunächst stofflich als Produkt (z.B. Möbel oder Balken) genutzt, um ihn anschließend über die Spanplatte (mehrfach) zu recyceln, bevor er einer energetischen Nutzung zugeführt wird. Entlang dieser Nutzungskaskade nehmen tendenziell die Faserstärke und damit die Qualität des

Rohstoffes ab. Dagegen nehmen je nach Verarbeitungs- und Verwendungsprozess die Schadstoffbelastungen zu.

Voraussetzung für eine verstärkte Kaskadennutzung

Damit Biomasse aus Produkten wie Holzfenstern, PET-Flaschen oder Pullovern wiederverwertet bzw. in die Kaskaden eingespeist werden kann, bedarf es folgender grundlegender Voraussetzungen:

Nutzungsziele bereits in das Produktdesign integrieren: Eine erfolgreiche Kaskadennutzung über mehrere Kaskadenebenen hinweg, basiert auf möglichst „reinen“ Ausgangsstoffen. Bereits das erste Produkt sollte daher auf eine nachhaltige Wiederverwertbarkeit ausgerichtet werden. Eine Zugabe von Bindemitteln, Zusatzstoffen, Klebern oder Schadstoffen sollte möglichst in der Produktion auf ein Minimum reduziert bzw. vollständig eingespart werden. Die Fasern sollten im gesamten Prozess möglichst stabil bzw. intakt gehalten werden.

Getrennte Erfassung und Aufbereitung der Stoffströme: Die Trennung der unterschiedlichen Stoffe und Sortimente vom Anfall- bis zum Aufbereitungsort (Etablierung von angepassten Logistiksystemen) ist zwingend erforderlich. In Österreich beispielsweise erfolgt auf Basis der „Recyclingholzverordnung“ die Sortierung der Altholzsortimente direkt am Anfallort. Im Bereich der Biokunststoffe kann eine Sortierung mittels Nahinfrarotspektroskopie erfolgen. Insgesamt betrachtet sind effiziente Aufbereitungs- und Sortiertechniken für eine erfolgreiche Kaskadennutzung einzubinden.

Qualitätssicherung einführen (Messmethoden und -techniken): Je hochwertiger ein Rohstoff ist, desto hochwertiger kann er auch wieder in die Kaskade eingespeist werden. Bisher erfolgt die Sortierung insbesondere beim Altholz meist anhand optischer Kriterien. Eine bessere Sortierung z.B. durch Nahinfrarotspektroskopie oder bei Bedarf eine höherer Taktung chemischer Analysen sollte daher obligatorisch in den Kaskadenprozess integriert werden.

Insgesamt könnte bereits jetzt durch eine optimierte Erfassung, Sortierung und Aufbereitung ein Biomasse-Potenzial von 0,5 Mio. t. Alttextilien und 2,9 Mio. t Altholz im Hinblick auf eine stoffliche Nutzung zusätzlich in Deutschland erschlossen werden. In naher Zukunft könnten sich zudem deutliche Recycling-Potenziale im Bereich der Biokunststoffe ergeben.

Weitere Informationen zum Projekt erhalten Sie unter: www.biomassekaskaden.de

BIOMASSEKASKADEN

Gefördert durch:
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Umwelt Bundesamt
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Literatur

Die Bundesregierung (2012): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen - Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.02.2012. Berlin: BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

IZES (2014): Analyse der Rohstoffbereitstellung für die verschiedenen Konzepte der Kaskadennutzung von Biomasse – UBA-Projekt „BIOMASSEKASKADE - Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse - von der Theorie zur Praxis“

Recyclingholzverordnung, BGBl. II Nr. 160/2012 vom 15. Mai 2012

Autorenanschrift

Sonja Kay, Prof. Frank Baur
IZES gGmbH - Abteilung Stoffströme
Altenkesseler Straße 17, Geb. A1, 66115 Saarbrücken
Tel: 0681-9762-858/859, Fax: 0681-9762-850
Email: kay@izes.de, baur@izes.de

Kaskadierte Nutzung schwer abbaubarer Substrate und Intensivierung der Hydrolyse

Matthias Majewski, Fabian Lichti
Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising

Ziel dieses Projektes ist eine Optimierung der anaeroben Vergärung von lignocelluloser Biomasse (LCB) in zweiphasigen Systemen. Aufgrund des hohen Anteils an Lignin sind Substrate wie Heu und Stroh gegenüber dem Angriff von Enzymen weitestgehend resistent. Die chemische sowie enzymatische Behandlung des vergorenen Substrats soll das Lignin entfernen und so den Zugang zu weiterem Abbau von (Hemi)-Cellulose ermöglichen.

Material und Methoden

Substrat: Heu-Stroh Mix (Reststoffmix), Mais (NawaroMix)

Durchflussversuche: Hydrolysestufe 35l, OLR: 3,5; HRT 12d; pH 6 - 6,5

Methanstufe 60 l; HRT 30d; pH 7,5 - 8

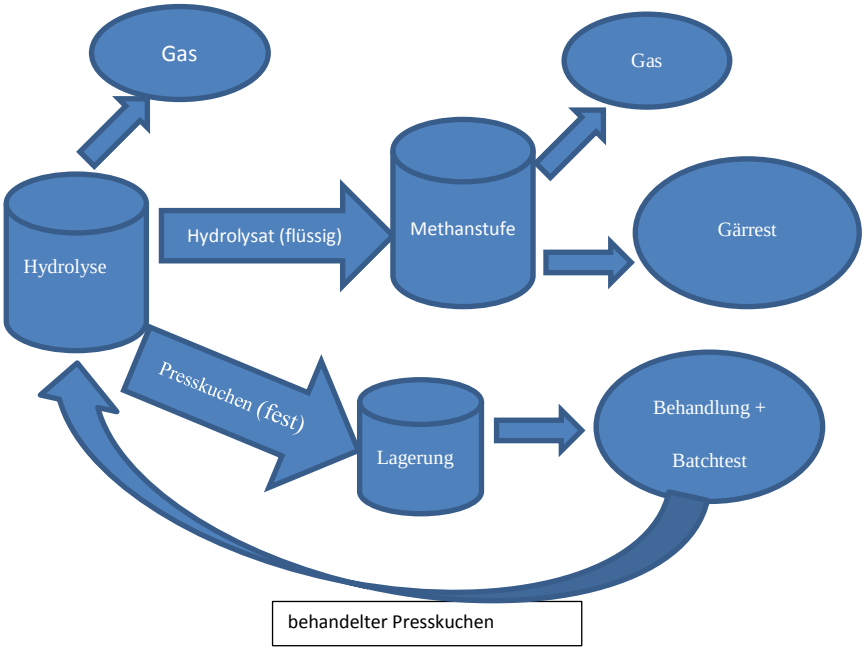


Abbildung 2: Fließschema 1. und 2. Hydrolyse

Wesentlicher Aspekt der Betriebsweise ist die Fest-Flüssig-Separation des Gemischs in der Hydrolyse. Die flüssige Phase wird der Methanstufe zugegeben, die feste Phase (=Presskuchen, bzw. nicht abgebautes Substrat) wird gelagert, chemisch behandelt und einer 2. Hydrolyse unterzogen.

Die chemische Behandlung erfolgte nach Durchführung von Batchtests mit

folgenden Parametern:

- Behandlungszeit: 2h; Temperatur: 20° C; Konzentration: 0,3 g NaOH/g oTS

Ergebnisse 2. Hydrolyse Reststoffmix

Wie aus der Abbildung hervorgeht kann der tägliche Methanertrag durch die alkalische Behandlung dauerhaft erhöht werden. Die über die Zeit sinkenden Erträge resultieren aus dem höheren Gasertragspotenzial des eingesetzten Inokulums. So kann erst ab dem 40. Tag des Versuchs von einem Gleichgewichtszustand gesprochen werden.

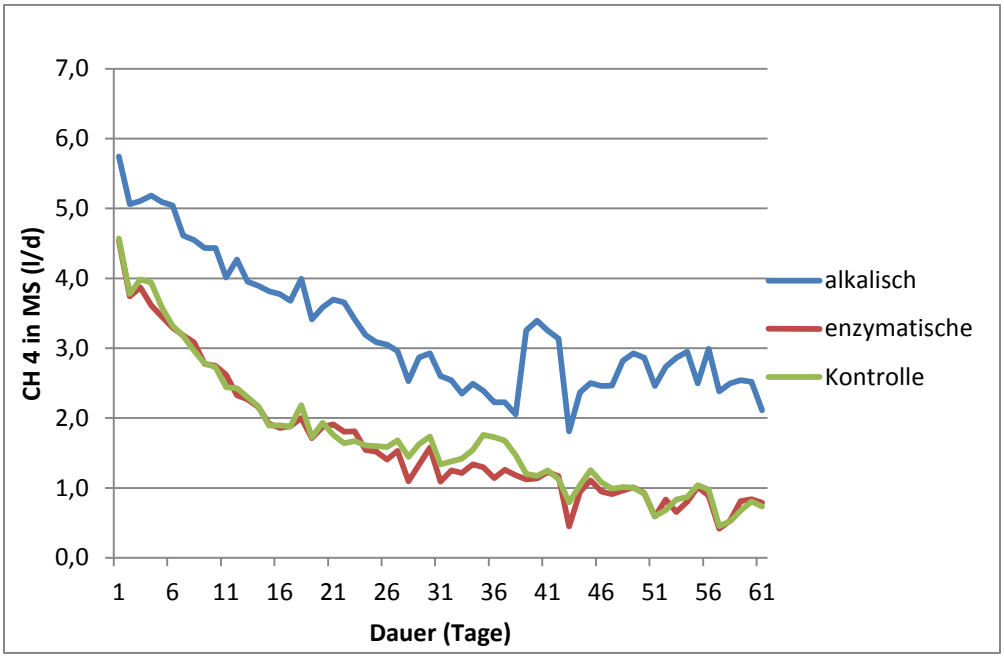


Abbildung 2: CH_4 Ertrag in der Methanstufe

Die spezifischen Methanerträge liegen im Durchschnitt bei 35,5 (alkalisch), 22 (enzymatisch) und 23,8 l /kg oTS (Kontrolle) und können daher als niedrig eingeschätzt werden. Der Abbaugrad liegt durchschnittlich zwischen 3 % (enzymatisch und Kontrolle) und 5 % (alkalisch).

Schlussfolgerungen

Der Versuch hat gezeigt, dass Reststoffe aus vergorenem Heu-Stroh Mix durch eine chemische Behandlung weiter abgebaut werden können. Die erzielbaren Mehrerträge durch die Substratbehandlung lagen jedoch auf einem eher niedrigen Niveau.

Literatur

Taherzadeh M., Karimi k.(2008):Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review, in: International Journal of molecular sciences, Vol. 9, 1621-1651

Carvalheiro F. et all. (2008): Hemicellulose biorefineries: a review on biomass pretreatments, in : Journal of scientific & industrial research, Vol 67, 849-864

Autorenanschrift

Matthias Majewski
Am Staudengarten 3
85354 Freising;
Email: matthias.majewski@lfl.bayern.de

Getreide-Ganzpflanzen-Silage als Biogassubstrat

Dr. Anna Techow, Dr. Christine Riedel, Dorothea Hofmann
Bayerisches Landesanstalt für Landwirtschaft

Einleitung

Maisbetonte Fruchtfolgen können durch Ganzpflanzen-Silage (GPS) aus Wintergetreide aufgelockert werden. Das Getreide begrünt den Acker im Winter und dient als Schutz vor Nährstoffauswaschung und vor Erosion. Eine Gärrestverwertung ist im Gegensatz zum Mais im Herbst und Frühjahr möglich.

Ziel in der Biogasproduktion sind hohe flächenbezogene Methanerträge. Versuche haben gezeigt, dass dabei der Trockenmasse (TM)-Ertrag die entscheidende Rolle spielt, während die spezifische Methanausbeute für die unterschiedlichen Getreidearten und -sorten keine signifikanten Unterschiede aufweist (Sticksel, 2015). In dem vorliegenden Versuchsvorhaben sollen mögliche Ertragsunterschiede zwischen den Sorten aufgezeigt und Zusammenhänge zwischen dem TM-Ertrag und weiteren agronomischen Größen untersucht werden.

Material und Methoden

Der Sortenvergleich von Roggen und Triticale wurde separat jeweils mit 4 Wiederholungen angelegt. Im Jahr 2014 lief der Versuch der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) einortig in Grub und wurde im Jahr 2015 auf vier Standorte (Grub, Almesbach, Baumannshof, Pettenbrunn) ausgedehnt. Zum Anbau kamen 10 Roggen- und 11 Triticalesorten mit bereits großer Anbaubedeutung sowie Neuzüchtungen. Es wurden sowohl Hybrid- als auch Populationsorten angebaut. Neben dem Biomasseertrag und Trockensubstanzgehalt, wurden die Merkmale Pflanzenlänge und Entwicklungsstadium der einzelnen Sorten zur Ernte festgestellt.

Ergebnisse

Im Jahr 2015 wurde die Roggenernte im Stadium „Frühe/Mitte Milchreife“ durchgeführt. Der TS-Gehalt lag dabei zwischen 28-34%. Auch die Ernte der Triticalesorten fand im Stadium „Mitte/Ende Milchreife“ bei einem für die Silierung optimalen TS-Gehalt von 35-38% statt. Das Ertragsniveau der Roggensorten lag im Mittel der Standorte bei 111 - 148 dt TM/ha. Sorten wie KWS Progas, SU Phönix oder Generator gehörten dabei auf den Standorten zu den Spitzenreitern (Tab. 1). Zudem war die Höhe des Ertragsniveaus auch von Standorteffekten abhängig. So konnten in Almesbach und auf dem Baumannshof etwa 130 – 160 dt TM/ha geerntet werden, in Grub hingegen lediglich nur ca. 100 - 135 dt TM/ha. Das Ertragsniveau der Triticalesorten lag auf allen Standorten mit Ausnahme von Grub über dem der Roggensorten. Im Mittel über die vier Standorte wurden 109 - 175 dt TM/ha erwirtschaftet. Hier waren Sorten wie HYT Max und TIW 936 führend (Tab. 1). Auch hier wurden auf den Standorten Almesbach und Baumannshof die höchsten Erträge erreicht.

Es gilt zu beachten, dass es sich bei allen Ergebnissen um Erträge aus Parzellenversuchen handelt. Praxiserträge bedürfen eines Abschlags von 15-20%.

Tab. 1: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Triticale- und Roggensorten am Beispiel Almesbach (Versuchsjahr 2015).

W.triticale	Trockenmasse (dt/ha) 25.06.	Trockensubstanzgehalt (%) 25.06.	SNK TM		W.roggen	Trockenmasse (dt/ha) 25.06.	Trockensubstanzgehalt (%) 25.06.	SNK TM
Balu PZO	188.90	36.50	A		**KWS Protherm**	161.17	32.92	A
HYT Max	188.36	36.62	A		**Generator**	159.06	34.55	AB
TIW 00936	182.47	35.85	B		**Brandie**	152.50	33.08	AB
HYT Prime	179.37	35.33	BC		**SU Phönix**	150.25	30.38	ABC
Cosinus	176.48	36.67	BCD		**KWS Progas**	149.71	32.75	ABC
Tricanto	176.27	33.09	BCD		**Helltop**	147.86	32.89	ABC
Massimo	174.10	35.19	CD		**Conduct**	144.97	32.63	BC
Trimmer	169.90	36.40	D		**SU Stakkato**	144.15	32.01	BC
Tulus	169.87	36.61	D		**Visello**	137.15	32.91	CD
Agostino	163.09	35.21	E		**Hellvus**	131.17	32.64	D
SU Agendus	154.62	35.27	F					
Mittelwert	174.86	35.70			**Mittelwert**	147.80	32.67	

*SNK: Mittelwertvergleich im Student-Newman-Keuls Test (α=0,05), Mittelwerte mit dem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich

Ausblick

Durch die standortangepasste Sortenwahl sind Ertragssteigerungen möglich – dies wird auch durch frühere Versuche an der LfL bereits bestätigt. Die vorliegenden einjährigen Ergebnisse stellen das Leistungspotential der Sorten unter den angegebenen Standortbedingungen dar und können als Orientierungshilfe bei der Sortenwahl dienen. Im Folgejahr 2016 ist die Ausdehnung des Versuches auf insgesamt 6 Standorte (Pettenbrunn, Baumannshof, Grub, Almesbach, Neuhof, Puch) vorgesehen, wobei der Versuch an einem Standort als Wertprüfung angelegt wird.

Getreide-GPS eignet sich zudem als Erstfrucht in einem Zweikulturnutzungssystem. Dadurch lässt sich das bereits vorhandene Ertragspotential durch den zusätzlichen Anbau einer Folgekultur noch einmal anheben. Auch dieses Potential wird auf zwei Standorten in Bayern bereits überprüft.

Die Vorjahresergebnisse aus Grub sowie weitere Informationen zum Thema sind im Internet (http://www.lfl.bayern.de/ipz/biogas/081517/) zu finden.

Literatur

Sticksel, E., 2015. Wintergetreide - Ganzpflanzensilage als Biogassubstrat. Biogas Forum Bayern.

Autorenanschrift

Dr. Anna Techow
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ)
85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: anna.techow@lfl.bayern.de

Vielfalt in der Produktion der Biogassubstrate

Johannes Uhl, Andrea Sobczyk, Dorothea Hofmann
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Einleitung

Die bedeutendste Energiepflanze für die Substratproduktion im Biogasprozess ist der Mais. Er zeichnet sich durch hohe Methanhektarerträge und günstige Produktionskosten aus. In Bayern lag die Maisanbaufläche bis zum Jahr 2002 für einen Zeitraum von über 20 Jahren relativ konstant bei rund 400.000 ha. Im Jahr 2014 sind gut 500.000 ha Mais laut InVeKoS angebaut worden. Die Flächennutzung durch die Biogasanlagen wird dabei auf ca. 130.000 ha geschätzt. Ein vermehrter Maisanbau mit engen Fruchtfolgen kann zum Abbau des Bodenhumus führen und die Erosionsgefahr erhöhen.

Seit vielen Jahren wird in ganz Bayern von verschiedenen Instituten Forschungsarbeit im Bereich des Energiepflanzenanbaus geleistet. Durch den Anbau verschiedener Kulturen und die Verwendung unterschiedlicher Anbausysteme kann in der Produktion der Biogassubstrate eine Vielfalt mit möglichst hoher Flächenproduktivität erreicht werden.

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), das Technologie und Förderzentrum (TFZ) sowie die Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) haben sich unter der Leitung des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der LfL zusammengefunden, um das Projekt „Informations- und Demonstrationszentren Energiepflanzenanbau“ ins Leben zu rufen. Das Projekt verfolgt das Ziel die vielfältigen Möglichkeiten der Erzeugung von pflanzlichen Rohstoffen für den Biogasprozess anhand fundierter Forschungsarbeiten praxisgerecht aufzuarbeiten und zielgruppenorientiert weiter zu geben.

Material und Methoden

In ganz Bayern wurden im Jahr 2013 zehn Informations- und Demonstrationszentren Energiepflanzenanbau aufgebaut (Abb.1), an denen sich Interessierte, vom Landwirt über Imker bis hin zum Verbraucher, vor Ort über die Vielfalt der Energiepflanzen, deren Anbau sowie deren Vor- und Nachteile ein Bild machen können.

Ziel des Projektes ist die praxisgerechte Weitergabe des in der Forschung erarbeiteten Wissens und der gewonnenen Erfahrungen im Bereich der Produktion von Energiepflanzen. Mittels Führungen, Feldtagen, sowie mit Vorträgen und Publikationen wird zielgruppenorientiert informiert. An den Zentren werden die vielfältigen Anbaumöglichkeiten im Bereich der Energiepflanzen anhand von bis zu 30 Schauparzellen präsentiert. Ganzjährig stehen am Standort Informationstafeln mit Anbauhinweisen zu den angebauten Kulturen zur Verfügung, um sich jederzeit ein Bild über die Energiepflanzen zu machen.

Stand und Ausblick

Die LfL setzt sich mit dem Anbau klassischer landwirtschaftlicher Kulturen, wie Getreide und Ackergräser, die zu den zweit- und dritthäufigsten eingesetzten Substrate gehören, auseinander. Versuche im Freiland, wie auch im Gewächshaus, geben Aufschluss darüber, welche Sorten der verschiedenen Getreidearten aufgrund ihres Massenwuchses oder ihrer Trockentoleranz und Standfestigkeit besonders für den Anbau geeignet sind. Verschiedene Anbaukombinationen wie Untersaat von Ackerfutter in Wintergetreide oder Stangenbohnen-Maisanbau sowie verschiedene Fruchtfolgeglieder als Zweitkulturnutzungssysteme fördern die Diversität in der Fruchtfolgegestaltung und bieten dazu viele pflanzenbauliche Vorteile wie winterliche Begrünung und damit verstärkten Schutz vor Nährstoffauswaschung und Erosion. Das TFZ testet neue und wiederentdeckte Kulturen, die als Biogassubstrate Potential haben, aber hinsichtlich des Ertrages und der Produktionstechnik noch Forschungsbedarf zeigen. Mehrjährigen Kulturen wie z. B. die Durchwachsene Silphie oder das Riesenweizengras bringen zusätzlichen Nutzen vor allem durch einen geringen Arbeitsaufwand und die Förderung der Bodenfruchtbarkeit. Die LWG selektiert heimische und fremdländische Wildpflanzen. In den letzten Jahren sind dabei Mischungen entstanden, bei denen besonders die Biodiversität sowie hohe Trockenmasseerträge Berücksichtigung fanden. Kulturen mit einer humusmehrenden Wirkung, einer hohen Gärrestverwertung sowie einer langen Blühdauer sind Ergebnisse und weiterhin Teilziele einzelner Forschungsarbeiten. Den bisherigen Stand des Energiepflanzenanbaus dem Fachpublikum und der breiten Öffentlichkeit zu präsentieren, Lösungsansätze für derzeitige und zukünftige Herausforderungen aufzuzeigen und einen Wissensaustausch zwischen Wissenschaft und allen involvierten Interessengruppen zu fördern, sind die wesentlichen Aufgaben der Informations- und Demonstrationszentren Energiepflanzenbau.

Abb. 1: Informations- und Demonstrationszentren Energiepflanzenanbau an 10 Standorten in Bayern.

Autorenanschrift

Johannes Uhl
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Am Gereuth 4
85354 Freising
Johannes.Uhl@LfL.bayern.de

Labordienstleistung als Basis einer effektiven Biomassenutzung

Christian Vogt, Günter Henkelmann
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Lange Point 6, 85354 Freising

Einleitung

Im Bereich der Energiegewinnung durch Biogas ist die analytische Untersuchung und Beurteilung von Einsatzstoffen (z. B. Maissilage) unabdingbar. Dabei ist der Biogas-Prozess als biologischer Prozess zu sehen, bei dem organische Substanz (Substrat) unter Abwesenheit von Sauerstoff, also anaerob, abgebaut wird. Der Prozess erzeugt Biomethan als gewünschten Energieträger, Kohlenstoffdioxid und den sog. Gärrest, der als organischer Dünger eingesetzt wird (*1*). Um einen störungsfreien Ablauf der Biogaserzeugung zu garantieren ist es notwendig die wichtigsten Schlüsselparameter des Abbauprozesses mittels moderner Laboranalytik zu überwachen. Treten Abweichungen von Sollwerten auf so kann der Betreiber einer Biogasanlage korrigierend in den Prozess eingreifen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Laboranalytik möglichst fehlerfreie Ergebnisse liefert. Um dies zu gewährleisten bietet die LfL Ringversuche an.

Material und Methoden

Die teilnehmenden Labore konnten bei der Anmeldung zum Ringversuch auswählen, welche Matrices und Parameter sie analysieren wollten. Zur Auswahl standen sechs verschiedene Ringversuchsgruppen (Einsatzstoffe, Fermenterinhalt, Elemente/Mineralstoffe, Carbonsäuren, Nährstoffe im Gärrest und Restgasbestimmung). Die anzuwendenden Untersuchungsverfahren waren freigestellt. Die analytisch ermittelten Werte als Dreifachbestimmung sowie die Methoden mit ihren Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen wurden dem Ringversuchsveranstalter zur Auswertung übermittelt. Die Datenauswertung erfolgte mit dem Programm PROLab Plus der Firma QuoData GmbH, Dresden. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte nach DIN 38402-A45 (Q/Hampel). Die Teilnahme an einer Ringversuchsgruppe war erfolgreich, wenn mindestens 66,6 % (2/3) der Merkmale innerhalb der statistisch ermittelten Toleranzgrenzen lagen. Zur Einschätzung der Ergebnisse und für die Bewertung der Labore wurde die Maßzahl Z_u angegeben. Das Verfahren geht auf das „International Harmonized Protocol for Proficiency Testing of (Chemical) Analytical Laboratories“ (*2*) zurück und ist definiert als:

$$Z_u = \frac{\text{Labormittelwert} - \text{Sollmittelwert}}{\text{Vergleichsstandardabweichung}} * \frac{1{,}96}{k_1 \text{ bzw. } k_2}$$

Bei Labormittelwerten mit $|Z_u| \leq 2{,}0$ ist die Analytik sowie das erhaltene Ergebnis als befriedigend einzustufen. Labormittelwerte mit $|Z_u| > 2{,}0$ werden als Fehler gewertet (Analytik/Ergebnis unbefriedigend). Dabei sollten bei einem Z_u-Score außerhalb der Toleranzgrenzen ($|Z_u| > 2{,}0$) die Gründe für die Abweichung eruiert und beseitigt werden. Eine Liste der erfolgreichen Labore wurde online veröffentlicht

(http://www.biogas-forum-bayern.de/).

Ergebnisse und Diskussion

Am aktuellen 9. Ringversuch der LfL nahmen insgesamt 33 Labore teil. Die Merkmale der Ringversuchsgruppe 1: Einsatzstoffe (Maissilage) wurden von 11 Laboren untersucht. Dabei konnten 9 Labore mindestens 66,6 % (2/3) der Parameter richtig analysieren. Am Beispiel des Rohproteingehaltes der Maissilage wird die statistische Auswertung der Daten mittels ProLab deutlich. Aus den Messwerten der analytischen Dreifachbestimmung wurde der Mittelwert gebildet und die laborinterne Standardabweichung ermittelt. Basierend auf der relativen Vergleichsstandardabweichung der Labore (hier: 4,70 %) wurden die Toleranzgrenzen für das Merkmal festgelegt.

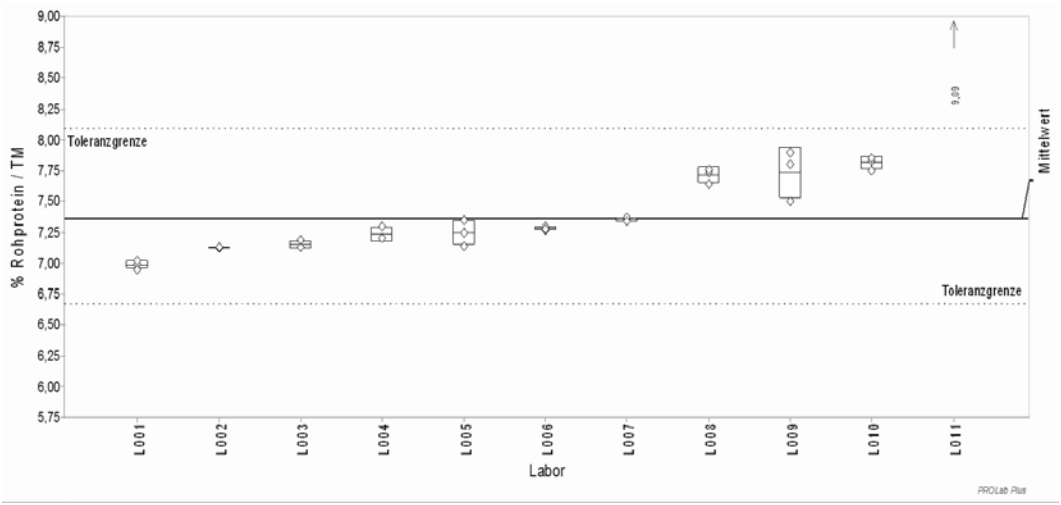


Abb. 3: Verteilung der Rohprotein Laborergebnisse von Maissilage die um den Mittelwert 7,36 % in der Trockenmasse schwanken. Die Toleranzgrenzen liegen zwischen 6,67 und 8,09 %.

Schlussfolgerungen

Ziel der Ringversuche ist es, die Laboranalytik im Bereich der Einsatzstoff-, Fermenter- und Gärrestuntersuchungen zu verbessern, mehr Transparenz zu schaffen und geeignete analytische Methoden zu selektieren. Laborbetreiber haben die Möglichkeit ihre Analytik mit anderen Laboren zu vergleichen und bei unzureichender Analytik ihre Methodik oder Arbeitsweise anzupassen. Ferner wird dem Betreiber einer Biogasanlage über das bereitgestellte Online-Portal mit der veröffentlichten Liste der erfolgreichen Labore die Möglichkeit gegeben, sich für seine Analysezwecke das passende Labor auszusuchen. Die Fortführung der Ringversuche zur Qualitätssteigerung von Labordienstleistungen ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine effektive Biomassenutzung.

Literatur

(1) Prozessmodell Biogas Nr. III – 3/2010 - https://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell_Biogas.pdf
(2) Thompson M, Wood R, International harmonized protocol for proficiency testing of (chemical) analytical laboratories, Pure Appl. Chem. 1993; 65:2132–2144.

Autorenanschrift

Christian Vogt
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen
Lange Point 6
85354 Freising
E-Mail: christian.vogt@lfl.bayern.de

Wir danken den Sponsoren für ihre Unterstützung!

Max Schönleutner Gesellschaft Weihenstephan e.V.

Bayerischer BauernVerband

Dow AgroSciences

KWS
Zukunft säen
seit 1856

ECOVIS

BayWa

Gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten